

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Porovnání korozivzdorné oceli a konstrukční oceli z hlediska obrábění

Comparison of Stainless Steel and
Structural Steel in Terms of Machining

Student:

Richard Honeš

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Lichovník

Ostrava 2020

Zadání bakalářské práce

Student:

Richard Honeš

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Porovnání korozivzdorné oceli a konstrukční oceli z hlediska obrábění
Comparison of Stainless Steel and Structural Steel in Terms of
Machining

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor daného problému.
3. Experimentální část.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

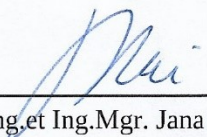
HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J.; Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
PERNIKÁŘ, J.; TYKAL, M.; VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie, Část metrologie. Brno : VUT v Brně, 2004. 151 s. ISBN 80-214-199-0.
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 1. díl. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
MRKVICA, M. Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80-7078-941-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Lichovník**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil informace získaných od firmy CS STEEL a.s., firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 18. května 2020



.....
Podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující firma:

CS STEEL a.s.

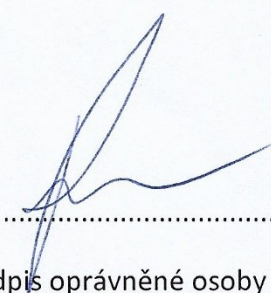
Potštátská 613

Hranice 753 01

IČ: 24658731

Jméno a příjmení oprávněné osoby: Ing. Tomáš Perutka

V Hranicích dne 7. května 2020.



.....

Podpis oprávněné osoby
(popřípadě razítko)

CS STEEL, a.s.
provozovna Hranice
Potštátská 613, 753 01 Hranice
IČ: 24658731
DIČ: CZ24658731 ③

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Richard Honeš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kelč 327, Kelč, 756 43

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HONEŠ, R. *Porovnání korozivzdorné oceli a konstrukční oceli z hlediska obrábění: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2020, 68 s. Vedoucí práce: Lichovník, J.

Bakalářská práce se zabývá rozdíly obrábění korozivzdorné a konstrukční oceli. V úvodu je popsána obrobitelnost, obrábění a jednotlivé druhy obrábění. V další části jsou popsány konstrukční a korozivzdorné oceli a jejich obrobitelnost. V hlavní části práce je porovnání použitých řezných podmínek při obrábění vybraných druhů ocelí za stejného technologického postupu. Pro experiment byly vybrány oceli S355J2+AR, 1.4404 a 1.4462. Dále je v hlavní části práce srovnání výrobních časů stejného dílu z různých vybraných ocelí. V závěru je vypracováno ekonomické zhodnocení pro všechny tři typy ocelí.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HONEŠ, R. *Comparison of Stainless Steel and Structural Steel in Terms of Machining: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2020, 68 p. Thesis head: Lichovník, J.

The bachelor thesis deals with the differences of machining corrosion resistant and structural steel. The introduction describes machinability, machining and individual types of machining. Another part describes the structural and corrosion-resistant steels and their machinability. In the main part of the thesis is a comparison of cutting conditons used in machining selected types of steel under the same technological process. For the experiment were selected steels S355J2+AR, 1.4404 and 1.4462. Also in the main part is a comparison of the production times of the same piece from different steels. At the end is made economic evaluation for all three types of steels.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	9
ÚVOD	12
1. SPOLEČNOST CS STEEL A.S.	13
2. OBECNÝ ÚVOD DO PROBLEMATIKY OBRÁBĚNÍ	14
2.1 Obrábění	14
2.1.1 Dělení podle charakteru vykonané práce.....	14
2.1.2 Dělení podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje	14
2.2 Obrobitelnost.....	15
2.3 Skupiny obráběných materiálů	17
2.4 Dělení materiálu řezáním	18
2.4.1 Dělení na pásových pilách	18
2.4.2 Řezné podmínky	19
2.4.3 Nástroj	19
2.5 Soustružení	20
2.5.1 Řezné podmínky	21
2.5.2 Nástroje	22
2.5.3 Soustruhy.....	23
2.6 Frézování.....	24
2.6.1 Řezné podmínky	25
2.6.2 Nástroje	25
2.6.3 Frézky.....	26
3. ÚVOD DO KONSTRUKČNÍCH OCELÍ	28
3.1 Hlavní skupiny jakosti nelegovaných ocelí.....	29
3.2 Značení nelegovaných ocelí obvyklých jakostí	29
3.3 Oceli třídy 10.....	31
3.4 Oceli třídy 11.....	31
3.5 Obrobitelnost konstrukčních ocelí obvyklých jakostí	32
4. ÚVOD DO KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ.....	33
4.1 Značení korozivzdorných ocelí.....	34

4.2	Rozdělení podle struktury	35
4.2.1	Martenzitické oceli	35
4.2.2	Feritické oceli.....	36
4.2.3	Austenitické oceli	36
4.2.4	Austeniticko-feritické oceli	38
4.3	Obrobitelnost korozivzdorných ocelí.....	39
4.4	Obrábění korozivzdorných ocelí	40
4.4.1	Soustružení korozivzdorných ocelí	40
4.4.2	Frézování korozivzdorných ocelí	40
5.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	41
5.1	Použité stroje a nástroje	41
5.1.1	Pásová pila	41
5.1.2	Pilové pásy	42
5.2	Soustruhy	43
5.2.1	Soustružnické nástroje	44
5.3	Frézka	47
5.3.1	Frézovací nástroje.....	48
5.4	Technologický postup výroby	49
5.5	Porovnání řezných podmínek a srovnání celkových strojních časů	52
6.	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	56
6.1	Cena materiálu.....	56
6.2	Cena práce	57
6.3	Evidenční nákladová cena výrobku.....	57
7.	ZÁVĚR	59
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH	68

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/symbol	Popis	Jednotka
A	tažnost	[%]
a_p	hloubka řezu	[mm]
APMXS	maximální hloubka řezu v bočním směru posuvu	[mm]
CDX	maximální hloubka řezu	[mm]
D	průměr nástroje	[mm]
D_1	průměr obráběné plochy	[mm]
d_1	průměr obrobené plochy	[mm]
d_a	průměr stopky	[mm]
DC	obráběcí průměr	[mm]
DCON	spojovací průměr	[mm]
DMIN ₁	minimální průměr otvoru	[mm]
DMM	průměr stopky	[mm]
f_n	posuv na otáčku	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
i_o	index obrobitelnosti	[-]
KAPR	úhel břitu nástroje	[°]
KNB	kubický nitrid boru	

KV	nárazová práce	[J]
L	délka obráběné plochy	[mm]
l	délka obrobené plochy	[mm]
LF	funkční délka	[mm]
LS	délka stopky	[mm]
LUX	využitelná maximální délka	[mm]
n	počet otáček	[min ⁻¹]
OAL	celková délka	[mm]
PKD	polykrystalický diamant	
q	kvocient	[-]
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
R _{p0,2}	smluvní mez kluzu	[MPa]
SNOP	stroj – nástroj – obrobek – přípravek	
v _c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v _{c15}	řezná rychlost při trvanlivosti 15 min. zkoušeného materiálu	[m·min ⁻¹]
v _{c15ref}	řezná rychlost při trvanlivosti 15ref min. referenčního materiálu	[m·min ⁻¹]
v _f	rychlost posuvu	[mm·min ⁻¹]
WF	funkční šířka	[mm]

z	počet zubů nástroje	[-]
Z	kontrakce	[%]
\emptyset	průměr	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[-]

Prvky periodické tabulky

C	uhlík
Cr	chrom
Mn	mangan
Mo	molybden
N	dusík
Ni	nikl
P	fosfor
S	síra
Si	křemík

ÚVOD

Ocel se stala nedílnou součástí používaných materiálů již v dávných dobách před Kristem. Na počátku se železo vyrábělo redukcí železné rudy pomocí dřevěného uhlí a dále bylo zpracováváno kováním. V téhle době se ocel využívala hlavně k výrobě zbraní. S příchodem průmyslové revoluce nastala i zásadní změna ve výrobě oceli, kdy se začaly používat konvertory.

Dnes ocel patří mezi nejpoužívanější konstrukční materiály. Její uplatnění nalezneme v mnoha průmyslových odvětvích. Kamkoliv se ve městě otočíme, můžeme nalézt prvky vyrobené z oceli. Tento fakt je dán tím, že existuje velké množství druhů ocelí, které mají různé využití. Odlišnost jednotlivých ocelí závisí na způsobu výroby, tepelném zpracování a přísadových prvcích, jenž jim dodávají specifické vlastnosti.

Rozdílné materiály mají i rozdílné vlastnosti při obrábění. Hlavní požadavky na výrobu jsou hospodárnost a produktivita. Z tohoto důvodu je nutné dbát na správnou volbu řezných podmínek, geometrii nástroje a také na vlastnostech materiálu nástroje. Hlavním faktorem volby nástroje je materiálová skupina, do které určitý materiál obrobku spadá.

V této práci se budu zabývat rozdíly obrábění korozivzdorné oceli a konstrukční oceli a porovnání jejich časů. Experiment budu provádět ve spolupráci s firmou CS STEEL a.s., která se zabývá prodejem, logistikou, dělením a přesným obráběním hutního materiálu.

1. SPOLEČNOST CS STEEL A.S.

CS STEEL a.s. je ryze česká společnost s profesionálním týmem, která poskytuje komplexní služby od prodeje, přes logistiku až po případné přesné obrábění a dělení materiálu. [1]

Působí na českém i slovenském trhu s hutními materiály od května 2010. Díky dynamickému růstu orientovaném na kvalitu a komplexní služby se společnost stala předním hráčem v oblasti oceli, nerezů a hliníku. Vysokou kvalitu v oblastech nákup, prodej, skladování, opracování a expedice hutního materiálu garantuje certifikát ISO 9001. [1]

Sídlo a centrální sklad firmy se nachází v Hranicích na Moravě přímo u dálnice D1, kde disponuje skladovací plochou o rozloze 5000 m². V rámci služeb zde zákazníkům nabízí dělení dlouhých ocelových výrobků, především pak tyčového materiálu, na čtyřech pilách KASTO, s možností dělení až do průměru 530 mm. Dále nabízí komplexní obrábění přesných dílů. Špičkové strojní vybavení umožňuje provádět veškeré operace soustružení, vrtání, frézování a závitování. Vyrábí rotační i nerotační díly o velikosti od 45 do 450 mm se zaměřením většinou na obrábění nerezové oceli. Další pobočka a sklad leží v Přešticích, nedaleko Plzně. [1]



obrázek 1.1 – Výrobky společnosti CS STEEL

2. OBECNÝ ÚVOD DO PROBLEMATIKY OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění je vědní obor, který zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu. Obráběcí proces je realizován v systému, který lze členit na subsystémy obráběcích strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí. Základním objektem obráběcího procesu je obrobek, který je definován příslušnými obrobenými plochami. [2]

2.1 Obrábění

Obrábění je technologický proces, při kterém vytváříme tvar, povrch a rozměry obrobku. K této změně dochází odebráním částic materiálu ve formě třísky pomocí mechanických účinků, kdy je nástroj velkou silou vtlačován do materiálu. Tento proces je realizován v soustavě, která se skládá z: stroj – nástroj – obrobek – přípravek (SNOP), ale také se uvažuje o soustavě pouze tří částí, bez přípravku. Metody obrábění se dělí z různých hledisek. [2]

2.1.1 Dělení podle charakteru vykonané práce

- **Ruční**
 - Práce vykonané člověkem pomocí ručních nástrojů (sekání, pilování apod.). Využívá se zde fyzická síla a manuální zručnost pracovníka. V dnešní době se vyskytuje zejména v údržbě a opravárenství. [2]
- **Strojní**
 - Ke strojnímu obrábění je potřebná energie, obvykle elektrická, která se transformuje v mechanickou energii, jež je využívána pro realizaci obráběcího procesu. [2]

2.1.2 Dělení podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje

- obrábění s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, ...),
- obrábění s nedefinovanou geometrií (broušení, lapování, honování, ...),
- nekonvenční obrábění (laserem, ultrazvukem, elektroerozivní, ...),
- úpravy obrobených ploch (válečkování, leštění, hlazení, ...). [2]

2.2 Obrobitelnost

Z hlediska technologie obrábění je obrobitelnost jednou z nejzávažnějších vlastností materiálu a lze ji definovat jako míru schopnosti konkrétního materiálu být zpracováván některou z obráběcích metod. Je to hlavní činitel, podle kterého se volí řezné podmínky pro funkci nástroje. Obrobitelnost závisí na mnoha faktorech obráběného materiálu, jako jsou mikrostruktura, chemické složení, fyzikální a mechanické vlastnosti, způsob výroby a tepelné zpracování atd. [2] [3] [11]

Obrobitelnost je relativní vlastnost, a proto se sledovaný materiál stanovuje porovnáváním s jiným materiálem, který označujeme jako referenční, obráběným stejným nástrojem za stejných pracovních podmínek. Srovnávacím kritériem zpravidla bývá teplota řezání, velikost síly řezání, jakost povrchu obrobené plochy nebo velikost řezné síly při zvolené trvanlivosti. [2]

Z hlediska charakteristik je obrobitelnost možné rozdělit na absolutní a relativní.

- **Absolutní obrobitelnost**

- je charakterizována funkčním vztahem a parametry spolu souvisejícími, nebo velikostí dané veličiny. [4]

- **Relativní obrobitelnost**

- je charakterizována bezrozměrnými čísly udávající poměr veličin, a to poměr velikosti této veličiny vztahující se k danému materiálu obrobku nebo nástroji a velikostí této veličiny odpovídající referenčnímu materiálu obrobku nebo nástroji. [3] [4]

Pro potřeby vyhodnocování jsou materiály obrobků rozdělené do devíti základních skupin:

a – litiny

f – přírodní nerostné hmoty

b – oceli

g – vytvrzené hmoty

c – těžké neželezné kovy

h – pryže

d – lehké neželezné kovy

v – tvrzené litiny pro výrobu válců

e – plastické hmoty [4]

V jednotlivých skupinách je vždy vybrán referenční materiál a k tomu je pak stanovena ona relativní obrobiteľnosť celej skupiny. Pro oceli je to ušlechtilá uhlíková ocel 12 050.1 podle ČSN 41 2050. Třída obrobiteľnosti je pak dána na základě indexu obrobiteľnosti. [2] [4]

$$i_o = \frac{v_{c15}}{v_{c15ref}} \quad (2.3.1)$$

kde v_{c15} je řezná rychlost při trvanlivosti $T = 15$ min. zkoušeného materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

v_{c15ref} je řezná rychlost při trvanlivosti $T = 15$ min. referenčního materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]. [3]

Třídy jsou označovány číslem umístěným před písmenem (např. 11a, 14b, 11c). Odstupňování střední hodnoty indexu obrobiteľnosti je dáno kvocientem. [4]

$$q = \sqrt[10]{10} \approx 1,26 \quad (2.3.2)$$

Referenční materiál má hodnotu kvocientu $q = 1$ ($1,26^0$). Potom platí, že čísla s nižším číslem mají horší obrobiteľnosť a s vyšším číslem obrobiteľnosť lepší. [4]

Tabulka 2.1 – Třídy obrobiteľnosti ocelí [3] [4] [11]

Třída	kvocient	střed	rozsah	Třída	kvocient	střed	rozsah
1b	$1,26^{-13}$	0,050	0,045-0,054	11b	$1,26^{-3}$	0,50	0,45-0,56
2b	$1,26^{-12}$	0,065	0,055-0,069	12b	$1,26^{-2}$	0,63	0,57-0,71
3b	$1,26^{-11}$	0,080	0,070-0,089	13b	$1,26^{-1}$	0,80	0,72-0,89
4b	$1,26^{-10}$	0,10	0,09-0,11	14b	$1,26^0$	1,00	0,90-1,12
5b	$1,26^{-9}$	0,13	0,12-0,14	15b	$1,26^1$	1,26	1,13-1,41
6b	$1,26^{-8}$	0,16	0,15-0,17	16b	$1,26^2$	1,59	1,42-1,78
7b	$1,26^{-7}$	0,20	0,18-0,22	17b	$1,26^3$	2,00	1,79-2,24
8b	$1,26^{-6}$	0,25	0,23-0,28	18b	$1,26^4$	2,50	2,25-2,82
9b	$1,26^{-5}$	0,32	0,29-0,35	19b	$1,26^5$	3,15	2,83-3,55
10b	$1,26^{-4}$	0,40	0,36-0,44	20b	$1,26^6$	4,00	3,56-4,47

2.3 Skupiny obráběných materiálů

Každý materiál má své charakteristické vlastnosti, které jsou ovlivněny legujícími prvky, tepelným zpracováním atd. Tyto aspekty mají značný vliv na volbu geometrie a třídy obráběcího nástroje a řezných podmínek. Pro zjednodušení byly obráběné materiály rozděleny do šesti hlavních skupin podle ISO. Každá z těchto skupin má své specifické vlastnosti z hlediska obrobitelnosti:

ISO P – Oceli představují největší skupinu materiálů a dále se dělí na nelegované až po vysoce legované, oceli na odlitky a korozivzdorné oceli. Jejich obrobitelnost je obvykle dobrá, ale liší se v závislosti na tvrdosti materiálu a obsahu uhlíku. Tato skupina se značí modrou barvou. [15]

ISO M – Korozivzdorné oceli jsou materiály, které obsahují minimálně 10,5 % chromu. Při obrábění jsou břity vystaveny účinkům velkého množství tepla, opotřebení ve tvaru vrubu a vytváření nárůstku. Tato skupina se značí žlutou barvou [15]

ISO K – Litiny tvoří na rozdíl od ocelí krátké třísky. Obrábění šedé a temperované litiny je poměrně jednoduché, ostatní litiny jsou obtížnější pro obrábění. Tato skupina se značí červenou barvou [15]

ISO N – Neželezné kovy jsou měkké kovy. Řadí se zde hliník, měď, mosaz atd. Při použití břitových destiček s ostrými břity lze očekávat vysoké řezné rychlosti a dlouhou životnost. Tato skupina se značí zelenou barvou.[15]

ISO S – Žáruvzdorné slitiny zahrnují celou řadu vysoce legovaných materiálů na bázi železa, niklu, kobaltu a titanu. Tyto materiály tvoří na břitu nárůstek, během obrábění dochází k jejich zpevňování a vzniká velké množství tepla. Jejich vlastnosti jsou podobné jako u ISO M, ale obrábění je ještě obtížnější. Tato skupina se značí hnědou barvou. [15]

ISO H – Do této skupiny se řadí oceli s tvrdostí v rozmezí 45 až 65 HRC a také tvrzené litiny s tvrdostí přibližně 400 až 600 HB. Kvůli velké tvrdosti jsou tyto materiály obtížně obrobitelné. Při jejich obrábění vzniká velké množství tepla. Tato skupina se značí šedou barvou. [15]

2.4 Dělení materiálu řezáním

Dělení materiálů patří mezi základní operace technologických postupů. Před samotným obráběním, na různých typech strojů, je třeba materiál nařezat na požadovanou délku, kterou určují rozměry obrobku. Mimo tyčové válcované či tažené materiály se dělení používá i u litých nebo tvářených polotovarů. [2] [6]

Řezání na pásových, rámových nebo kotoučových pilách patří k nejvyžívanějším metodám dělení materiálů. Řezáním lze dosáhnout hladkého povrchu řezu, přesné délky a kolmosti řezu. [2] [6]

2.4.1 Dělení na pásových pilách

Tato metoda patří k nejproduktivnějším a dochází zde k nejmenším ztrátám materiálu prořezem, což je výhodné u dělení drahých materiálů. Mezi nevýhody můžeme zařadit vysokou cenu nástroje. [2]



obrázek 2.1 – Pásová pila TWIN U 4

Zdroj: <https://www.directindustry.es/prod/kasto-maschinenbau-gmbh-co-kg/product-5234-1661147.html>

2.4.2 Řezné podmínky

Nejdůležitějším pracovním parametrem, jako je u jiných metod obrábění, je řezná rychlost (v_c). Řezná rychlost závisí na mechanických a fyzikálních vlastnostech děleného materiálu, tvaru a rozměru řezaného profilu a počtu řezaných součástí. Dalším parametrem je posuv na zub (f_z), který je konstantní. [2]

2.4.3 Nástroj

Nástrojem je pilový list, který je na obou koncích svařený tak, aby tvořil nekonečný pás. Pás je ve stroji natažen na hnací a napínací kotouč a ty jej rovnoměrným přímočarým pohybem vedou místem řezu. U většiny pásových pil je pilový pás posouván do řezu hydraulicky. Z materiálového hlediska se nejčastěji používají tyto druhy pilových pásů:

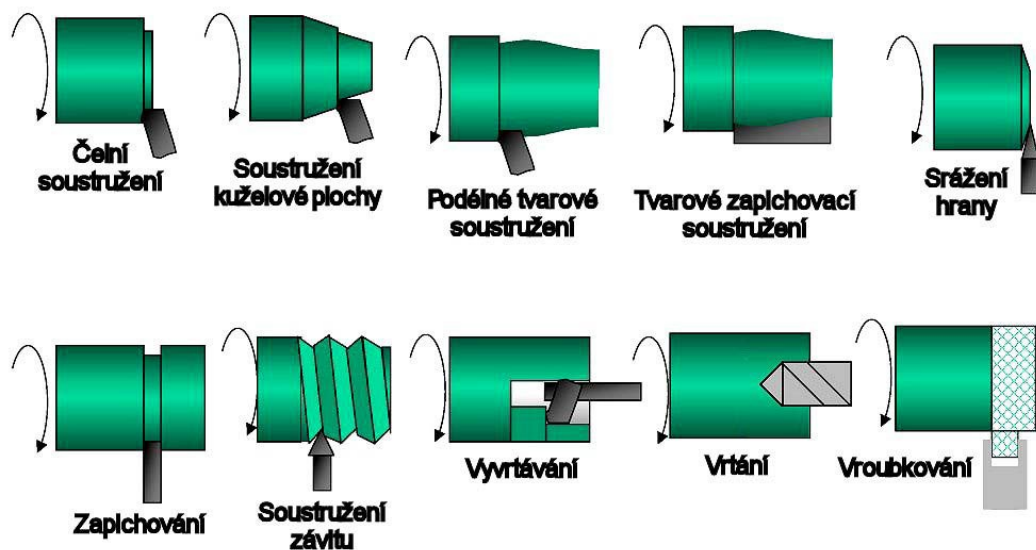
- pásy z pružné nebo tvrdé uhlíkové oceli,
- bimetalové pásy,
- pásy z pružné oceli s pájenými zuby ze slinutého karbidu. [2]



obrázek 2.2 – Pilový pás na kov

2.5 Soustružení

Soustružení je obráběcí metoda, která se využívá pro výrobu převážně rotačních součástí, většinou pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení. Jedná se o nejjednodušší a nejpoužívanější způsob třískového obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy. Dále lze vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, leštit atd. [2] [5]



obrázek 2.3 – Základní soustružnické práce [5]

Při soustružení dochází k odřezávání přídavku na obrábění řeznou částí nástroje s definovanou geometrií. Odřezávaná vrstva odchází z obrobku ve formě třísky. Obrobený povrch postupně získává požadovaný tvar, rozměr, drsnost i některé mechanické vlastnosti. [2]

Hlavní řezný pohyb (v_c) je rotační a koná jej obrobek. Tento pohyb umožňuje odříznutí třísky z povrchu obrobku pomocí nože. Vedlejší řezný pohyb (f_n) je přímočarý posuv a vykonává jej nástroj. Tento pohyb je nutný k tomu, aby nůž postupně odřezával třísky v požadované délce. [2]

2.5.1 Řezné podmínky

Pod pojmem řezné podmínky je třeba rozumět zejména stanovení řezné rychlosti (v_c), posuvu (f_n) a hloubky řezu (a_p). [2]

Řezná rychlost je rychlost hlavního řezného pohybu a definuje se jako obvodová rychlost měřená na obráběné ploše. Pro různé materiály nástrojů a obrobků se používá různá řezná rychlost. Řeznou rychlost při soustružení lze určit ze vztahu: [2]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.4.1)$$

kde D je průměr obráběné plochy obrobku [mm],
 n je počet otáček vřetene [min^{-1}]. [2]

Posuv je dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku obrobku. Při hrubování se jeho hodnota pohybuje mezi 0,4 až 5 mm, při dokončovacích operacích 0,06 až 0,3 mm a při jemném soustružení 0,005 až 0,05 mm. Protože se při soustružení nástroj posune při jedné otáčce o hodnotu posuvu, je možné stanovit rychlost posuvu v závislosti na otáčkách vřetene:

$$v_f = f_n \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.4.2)$$

kde f_n je posuv na otáčku [mm],
 n je počet otáček vřetene [min^{-1}]. [2]

Hloubka řezu se pohybuje u soustružení v hodnotách několika desetin mm až po několik mm. Velikost posuvu, hloubka řezu, úhel nastavení a tvar řezné hrany v záběru mají vliv na tvar a velikost průřezu třísky. Pro základní druhy soustružení lze určit hloubku řezu ze vztahu:

$$\text{pro podélné soustružení} \quad a_p = 0,5 \cdot (D_1 - d_1) \quad [\text{mm}] \quad (2.4.3)$$

kde D_1 je průměr obráběné plochy [mm],
 d_1 je průměr obrobené plochy [mm]. [2]

$$\text{pro čelní soustružení} \quad a_p = L - l \quad [\text{mm}] \quad (2.4.4)$$

kde L je délka obráběné plochy [mm],
 l délka obrobené plochy [mm]. [2]

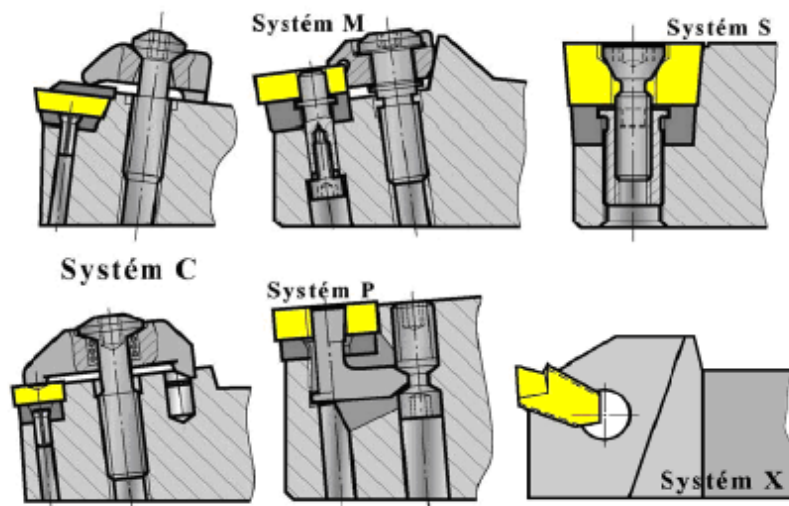
2.5.2 Nástroje

Nejpoužívanější nástroje pro obrábění jsou soustružnické nože. Jedná se o jednobřité nástroje jednoduchých tvarů, nejsou příliš drahé a jsou jednoduché na údržbu. [2]

Z technologického hlediska se rozlišují nože radiální (nejpoužívanější), prizmatické, kotoučové a tangenciální. [5]

Radiální nože lze dělit podle konstrukce, směru posuvového pohybu, způsobu obrábění, tvaru tělesa nože a použitého nástrojového materiálu. Z konstrukčního hlediska se radiální nože dělí na:

- **celistvé**
 - těleso i řezná část jsou z nástrojové nebo rychlořezné oceli a tvoří jeden celek,
- **s pájenými břitovými destičkami**
 - destička z řezného materiálu je připájena tvrdou pájkou do lůžka nože z konstrukční oceli,
- **s vyměnitelnými břitovými destičkami**
 - břitová destička je mechanicky upnuta v nožovém držáku z konstrukční oceli pomocí upínání ISO. [2] [5]



obrázek 2.4 – Systém upínání vyměnitelných břitových destiček [2]

- podle směru posuvového pohybu se rozlišují nože **pravé** a **levé**,
- podle způsobu obrábění se liší na **vnitřní** a **vnější**,
- podle tvaru tělesa nože se třídí na **přímé** a **nepřímé**. [2]



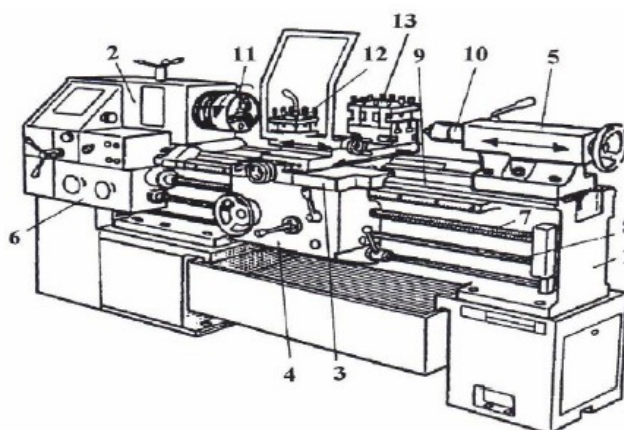
obrázek 2.5 – Soustružnický nůž pravý s vyměnitelnou břitovou destičkou

Zdroj: <https://www.tomek-naradi.cz/soustruznický-nůž-sdjc-r1616j11--16-mm/>

2.5.3 Soustruhy

Co do počtu, jsou soustruhy jednou z nejrozšířenějších částí obráběcí techniky. V obráběcích provozech strojírenských podniků se vyskytují ve velkém počtu typů a vykazují různý stupeň automatizace. Z konstrukčně technologického hlediska se rozlišují soustruhy hrotové, svislé, čelní, revolverové a speciální. Podle stupně automatizace se používají soustruhy ručně ovládané, poloautomatické a automatické. [5]

Hrotové soustruhy se používají v kusové a malosériové výrobě, pro soustružení hřídelových a přírubových součástí, bez náročného seřizování stroje. Vyrábějí se jako soustruhy hrotové univerzální a jednoduché. Univerzální hrotové soustruhy mají vodící šroub a lze na nich obrábět vnější a vnitřní rotační plochy, čelní rovinné plochy, zapichovat při podélném i čelním soustružení, řezat závit, soustružit kuželové či tvarové plochy. [5]



obrázek 2.6 – Univerzální hrotový soustruh [2]

- 1 – lože, 2 – vřeteník, 3 – suport, 4 – suportová skříň, 5 – koník,
- 6 – posuvová převodovka, 7- vodící šroub, 8 – vodící tyč, 9 – vodící plochy,
- 10 – hrotová objímka, 11 – sklíčidlo, 12 – otočná nožová hlava,
- 13 – zadní nožová hlava [2]

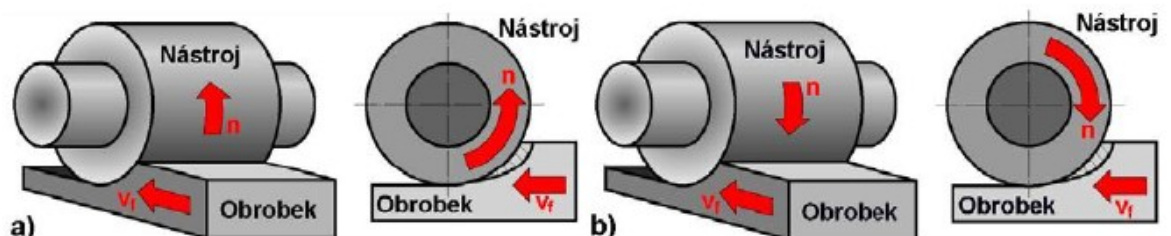
2.6 Frézování

Mezi velmi rozšířené metody obrábění řadíme také frézování. Jeho velkou předností je velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Používá se pro obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obrábění závitů a ozubení. [2]

Při frézování je materiál obrobku odebrán břity rotujícího nástroje – frézy. Hlavní řezný pohyb (v_c) je rotační a vykonává jej nástroj. Vedlejší řezný pohyb je posuv (f), nejčastěji jej vykonává obrobek, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech najednou. Řez je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky. [2] [5]

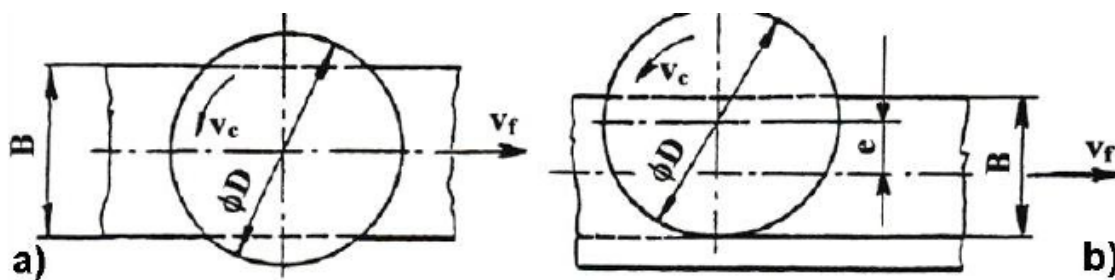
Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování válcové a frézování čelní. Od těchto způsobů se odvozují některé další způsoby, jako je frézování okružní a planetové. [2] [5]

Při válcovém frézování je osa nástroje rovnoběžná s obráběnou plochou a tříska je odebrána obvodem nástroje. Uplatňuje se při práci s válcovými a tvarovými frézami. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování sousledné a nesousledné. [2] [5]



obrázek 2.7 – Válcové frézování, a) nesousledné, b) sousledné [2]

Při čelním frézování je osa nástroje kolmá na obráběnou plochu, tříska je odebrána čelem nástroje a hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje. Břity jsou umístěny na čele, ale i na obvodu. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišuje frézování symetrické a nesymetrické. U symetrického prochází osa nástroje středem frézované plochy, u nesymetrického je osa nástroje mimo střed frézované plochy. [2]



obrázek 2.8 – Čelní frézování, a) symetrické, b) nesymetrické [2]

2.6.1 Řezné podmínky

Pro zjednodušení se za **řeznou rychlost** pokládá obvodová rychlost nástroje, která se vypočte ze vztahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.5.1)$$

kde D je průměr nástroje [mm],

n je počet otáček nástroje [min^{-1}]. [2]

Za základní jednotku posuvového pohybu se považuje **posuv na zub**. Je to délka dráhy obrobku za dobu záběru zubu. **Posuv na otáčku** je délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje. Rychlost posuvu lze vypočíst podle vztahu: [2]

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.5.2)$$

kde f_n je posuv na otáčku [mm],

f_z je posuv na zub [mm],

z je počet zubů nástroje [-],

n je počet otáček nástroje [min^{-1}]. [2]

2.6.2 Nástroje

Frézy jsou vícebřité nástroje, na nichž jsou břity uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše frézy. Vzhledem k velkému rozsahu technologie se používá velké množství druhů fréz, z nichž je většina normalizovaná. V závislosti na jejich technologickém uplatnění je lze třídit do jednotlivých skupin podle různých hledisek:

- podle ploch, na nichž leží ostří, se rozeznávají **válcové**, **čelní** a **válcové čelní** frézy.
- Podle druhu materiálu se rozlišují frézy z **rychlořezné oceli**, **slinutých karbidů**, **cermetů**, **řezné keramiky**, **KNB** a **PKD**.
- Podle provedení zubů se frézy rozlišují se zuby **frézovanými** nebo **podsoustruženými**.
- Podle směru zubů vzhledem k směru rotace frézy se rozlišují se zuby **přímými** a se zuby ve **šroubovici**.
- Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy se dělí na **jemnozubé**, **polohrubozubé** a **hrubozubé**.
- Podle konstrukčního uspořádání se rozlišují frézy **celistvé**, **s vloženými noži**, **s vyměnitelnými břitovými destičkami**, mechanicky upevněnými k tělesu frézy.
- Podle geometrického tvaru funkční části se rozlišují frézy **válcové**, **kotoučové**, **úhlové**, **drážkovací**, **kopírovací**, **rádusové**, **na výrobu ozubení** atd.
- Podle způsobu upnutí jsou frézy **nástrčné**, **stopkové**.
- Podle smyslu otáčení při pohledu od vřetena nástroje se frézy dělí na **pravořezné** a **levořezné**. [2] [5]



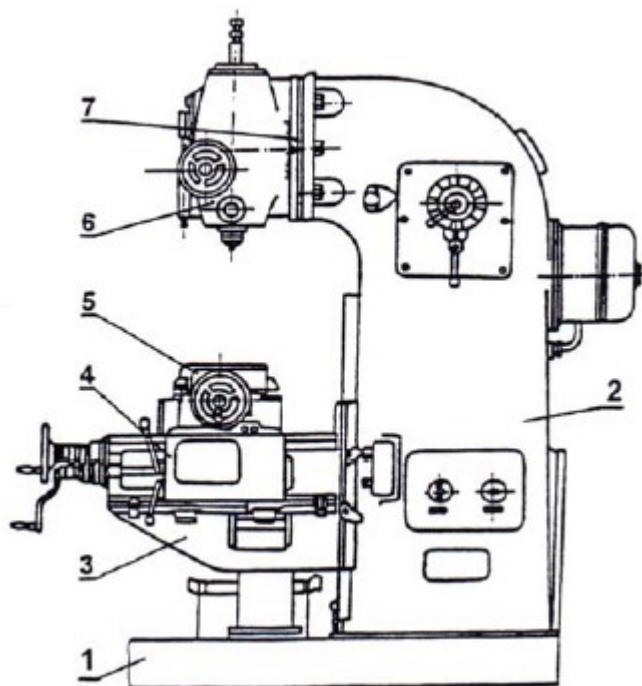
obrázek 2.9 – Nástrčná čelní fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami [2]

2.6.3 Frézky

Existuje velký počet modelů frézovacích strojů různých velikostí, často pak s rozsáhlým zvláštním příslušenstvím. Zpravidla se dělí do čtyř základních skupin – **konzolové**, **stolové**, **rovinné** a **speciální**. Z hlediska řízení pracovního cyklu se rozlišují frézky ovládané ručně a řízené programově. [5]

Velikost frézky určuje šířka upínací plochy stolu a velikost kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. Mezi další technické parametry patří maximální délka pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku, rozsah otáček vřetena a posuvů atd. [2]

Mezi nejrozšířenější frézky se řadí konzolové. Jejich charakteristickou částí je výškově přestavitelná konzole, která se pohybuje ve svislém směru po vedení stojanu stroje. Na konzole je pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem. Tato kombinace pohybů umožňuje přestavování obrobku upnutého na pracovním stole ve třech pravouhlých souřadnicích vzhledem k nástroji. Používají se pro obrábění rovinných a tvarových ploch menších a středně velkých obrobků v kusové a malosériové výrobě. Vyrábějí se ve třech základních variantách, a to jako vodorovné, svislé a univerzální. [2] [5]



obrázek 2.10 – Svislá konzolová frézka [5]

1 – základna, 2 – stojan, 3 – konzola, 4 – příčný stůl, 5 – podélný pracovní stůl,
6 – naklápěcí vřeteník, 7 – kruhová základna vřeteníku [5]

3. ÚVOD DO KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

Vzhledem ke svým rozmanitým vlastnostem jsou konstrukční oceli stále důležitým materiálem nejen ve strojírenství, ale i ve stavebnictví. Rozmanité působení uhlíku a přísadových prvků v oceli v kombinaci s různými druhy tepelného zpracování a tváření umožňuje dosáhnout různým vlastnostem materiálu. [20]

V dnešní době existuje obrovské množství druhů oceli, což dává konstruktérovi možnost vybrat ocel, jenž odpovídá požadavkům na konstrukci. Velmi důležitým faktorem při volbě oceli je druh a velikost mechanického namáhání, které působí na danou součást. Dalším důležitým činitelem jsou podmínky pracovního prostředí, kde bude součást uložena, jako je působení chemických látek, korozní prostředí, nízké nebo vysoké teploty. Dále je třeba dbát na ekonomické či technologické hledisko, kterým je například obrobitelnost, tváritelnost a svařitelnost. [25]



obrázek 3.1 – Rozdělení ocelí ke tváření [21]

Nelegované oceli jsou oceli, u kterých jejich určující obsahy jednotlivých prvků nedosahují mezních hodnot uvedených v normě, která definuje oceli ke tváření. [21]

Legované oceli jsou ty, u kterých jejich obsahy jednotlivých prvků minimálně v jednom případě dosahují nebo překračují mezní obsahy uvedené v normě. [21]

V této části práce se budu zabývat nelegovanými oceli, které tvoří největší část z celkové produkce oceli.

3.1 Hlavní skupiny jakosti nelegovaných ocelí

Nelegované oceli jsou rozděleny podle normy ČSN EN 10020 do tří hlavních skupin:

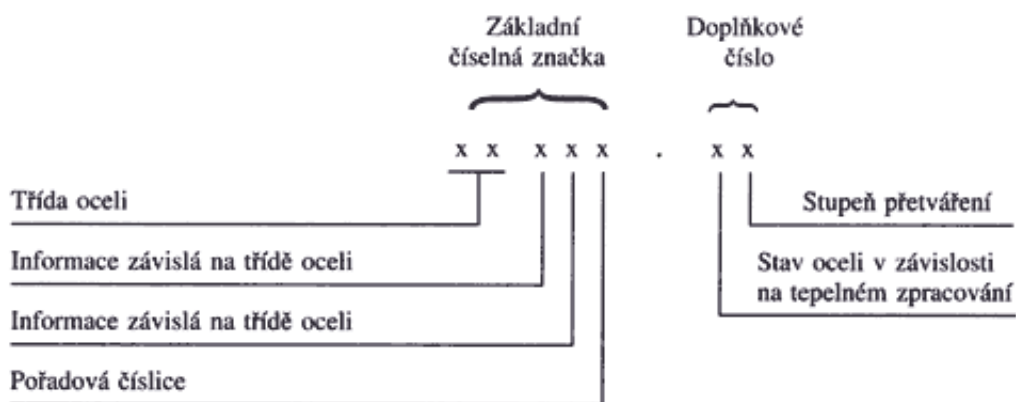
Oceli obvyklých jakostí nejsou určeny pro tepelné zpracování a nejsou pro ně předepsány další zvláštní kvalitativní charakteristiky. Jsou pouze omezeny maximální hodnotou meze pevnosti R_m (<690 MPa), tažností A (<26 %) a nárazovou prací KV (≤ 27 J). [21] [23]

Nelegované jakostní oceli jsou všechny nelegované druhy ocelí, které nejsou zahrnuty mezi oceli obvyklých jakostí a ušlechtilé oceli. Nemají předepsanou rovnoměrnou reakci na tepelné zpracování. U těchto ocelí nejsou předepsány žádné požadavky na stupeň čistoty, co se týká nekovových vměstků. Na tyto oceli jsou kladeny vyšší nároky při namáhání, kterému jsou vystaveny, například co se týče náchylnosti ke křehkému lomu, tváritelnosti apod. [21] [23]

Nelegované ušlechtilé oceli mají na rozdíl od jakostních ocelí vyšší stupeň čistoty. Jsou určeny pro zušlechťování nebo povrchové kalení. Tyto oceli mají přesně určené chemické složení a mnohdy podmínky výroby. [21]

3.2 Značení nelegovaných ocelí obvyklých jakostí

Podle původního značení ČSN 42 0002 se nelegované oceli obvyklých řadí do třídy ocelí 10 a 11. Označení tvářených ocelí tvoří pětimístné číslo, které vznikne z šestimístného označení, přičemž první číslice je 4 a značí hutní materiál. Tato první číslice se vynechává a vznikne základní označení ve tvaru 1X XXX.XX. Vzhledem ke zjednodušení použijí tuto normu v následující kapitole. [21]



obrázek 3.2 – Schéma číselného značení dle ČSN 42 0002 [23]

U ocelí třídy 10 má dvojčíslí dané třetí a čtvrtou číslicí význam nejmenší pevnosti v tahu v desítkách MPa. Výjimkou jsou oceli obchodní jakosti, kde třetí a čtvrtá číslice je 0 (např. 10 000, 10 004). Další výjimkou jsou betonářské oceli, kde dvojčíslí značí nejmenší mez kluzu v desítkách MPa. [23]

U ocelí třídy 11 dvojčíslí dané třetí a čtvrtou číslicí vyjadřuje nejmenší pevnost v tahu v desítkách MPa s výjimkou automatových ocelí, kde třetí číslice (1) značí, že je ocel obzvláště vhodná pro obrábění. Čtvrtá číslice charakterizuje střední obsah uhlíku v desetinách procenta, zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. [23]

V současné době se pro označení ocelí používá jednak systém zkráceného označování EN 10 027-1, jednak systém číselného označování EN 10 027-2. Čísla a písmena značek ocelí jsou zvolena tak, aby vyjadřovala základní charakteristické znaky, jako jsou hlavní oblasti použití, mechanické, fyzikální vlastnosti nebo chemické složení. [21]

V systému zkráceného označování EN 10 027-1 se používají dva typy značek ocelí:

- značky vytvořené podle jejich použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností,
- značky vytvořené na základě jejich chemického složení. [21]

Stavba značení vytvořených na základě použití a mechanických a fyzikálních vlastností je vytvořena třemi skupinami znaků a číslic nejčastěji podle následujícího schématu:

1. skup	2. skup	3.a skup	3.b skup
X	nnn(n)	X(X)	X(n)

1. skupina znaků obsahuje velká písmena, která značí použití oceli.

2. skupina značí nejčastěji mez kluzu, mez pevnosti nebo tvrdost.

3.a skupina značí dodatečné vlastnosti, například houževnatost nebo chemické složení, způsob výroby a tepelného zpracování, tvářitelnost apod.

3.b skupina souvisí zejména s použitím ocelí. [21]

Příklad:

S355J2+AR

S – značí ocel pro konstrukce,

355 – značí minimální mez kluzu $R_e = 355$ MPa,

J2 – značí nárazovou práci $KV = 27$ J při teplotě -20 °C,

+AR – značí válcovaný, bez tepelného zpracování. [11] [24]

3.3 Oceli třídy 10

Oceli třídy 10 nemají zaručené chemické složení ani čistotu. Dosahují pevnosti v tahu 400 až 790 MPa, ale jejich pevnost není zaručená. Obvykle se dodávají jako tyče, plechy, pásy, dráty, trubky nebo výkovky. Vzhledem k nízkému obsahu uhlíku jsou většinou svařitelné a dobře obrobitelné. Dodávají se většinou bez tepelného zpracování, které v poslední době nahrazuje řízené válcování. Nepoužívají se také na cementování, zušlechťování či povrchovému kalení. [11] [20] [25]

Používají se na výrobky, které nejsou navrženy podle výpočtu z pevnostních hodnot a které nemají nosné sváry. Nejsou vhodné pro použití při teplotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, protože příliš klesá jejich vrubová houževnatost. Další použití mají na výrobu nýtů, pro méně namáhané strojní a stavební součásti nebo například jako betonové výztuže. [20] [25]

3.4 Oceli třídy 11

Oproti ocelím třídy 10 mají předepsanou čistotu, zaručený maximální obsah uhlíku, zaručenou pevnost v tahu, mez kluzu a tažnost. Stále je nutno počítat s větší nerovnoměrností chemického složení, hlavně obsahu fosforu a síry. Vyžaduje se, aby nebyly náchylné k lámavosti za studena i za vysokých teplot. Dodávají se jako za tepla válcované profily, plechy, bezešvé trubky a výkovky. Nedoporučuje se používat na zušlechťování, cementování a povrchové kalení. Do této třídy ocelí se také řadí oceli automatové, hlubokotažné, pro nízké teploty a se sníženým sklonem ke stárnutí. [11] [20] [25]

Oceli třídy 11 se používají v normalizačně žíhaném stavu, jsou dobře obrobitelné a dobře svařitelné. Používají se k hlubokému tažení, na výrobu řetězů, nýtů atd. Jsou vhodné pro namáhané svařované strojní konstrukce. Oceli s obsahem uhlíku nad 0,3 % se používají na více namáhané strojní součásti, jako jsou hřídele, ozubená kola, železniční obruče. Vysokouhlíkové oceli třídy 11 se používají pro součásti vystavené silnému opotřebení, jako mlecí koule, zápustky apod. [20] [25]

Z této třídy ocelí jsem pro experiment vybral ocel S355J2+AR.

Tabulka 3.1 – Chemické složení oceli S355J2

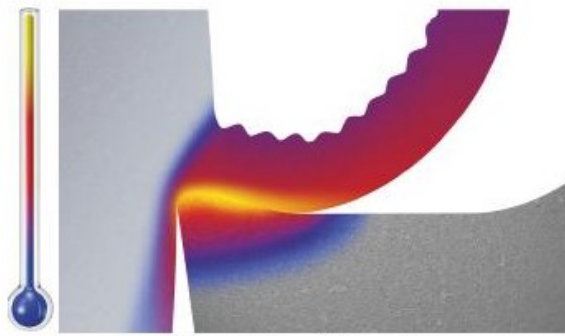
C [%]	Si [%]	Mn [%]	S [%]	P [%]	N [%]
0,17	0,28	1,14	0,026	0,016	0,01

Tabulka 3.2 – Mechanické vlastnosti oceli S355J2

Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	KV ^{-20 °C} [J]	Tvrdost [HB]
277	486	28,6	67,62	143

3.5 Obrobitelnost konstrukčních ocelí obvyklých jakostí

Konstrukční oceli obvyklých jakostí se řadí do skupiny materiálů ISO P. Obrobitelnost ocelí se liší v závislosti na obsahu slitinových prvků, tepelném zpracování a způsobu výroby (válcovaná, kovaná, odlévaná). Kontrola tvorby třísky je relativně jednoduchá. U nízkouhlíkových ocelí (<0,25 %) se tvoří delší tříska, která má tendenci k ulpívání (tvorba nárůstku), proto se vyžaduje použití ostrých břitů. Ke snížení tendence ulpívání materiálu na břitu napomáhají vysoké řezné rychlosti a břity s pozitivním úhlem čela a třídy s tenkým povlakem. Pro zlepšení dělení třísky se doporučuje u soustružení, aby byla hloubka řezu blízká nebo větší než poloměr špičky nástroje. Obecně lze říct, že tyto oceli jsou velmi dobře obrobitelné, ale projevují značný sklon k opotřebení břitu. [15]



obrázek 3.3 – Odvod tepla při tvorbě třísky u konstrukčních ocelí obvyklých jakostí [15]



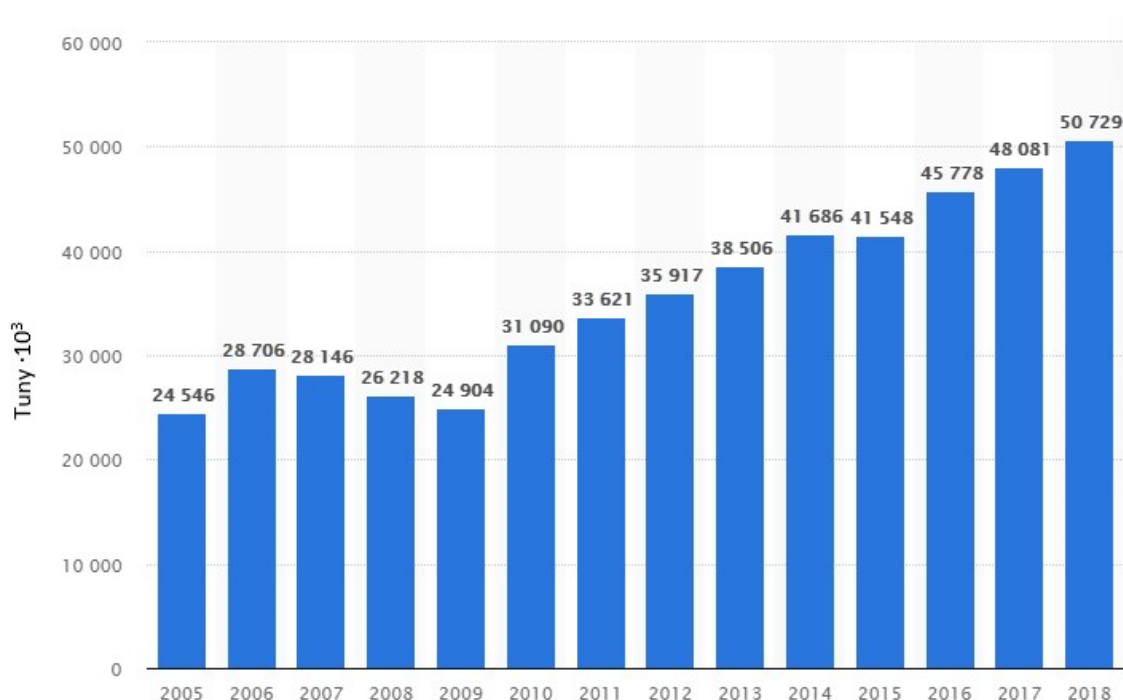
obrázek 3.4 – Soustružení konstrukční oceli

Zdroj: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/how-to-do-turning-in-different-materials.aspx>

4. ÚVOD DO KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Nevýhodou běžných typů ocelí, železa a jejich slitin je ta, že rezaví na vzduchu a korodují v kyselinách. Navzdory tomu existuje skupina slitin na bázi železa, slitiny železa – chromu – niklu známé jako korozivzdorné oceli. Tato skupina ocelí nerezaví na vzduchu ani v mořské vodě a je odolná vůči koncentrovaným kyselinám. Tyto vlastnosti v kombinaci s dobrými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi dodávají materiálu unikátní univerzální využití. Použití nerezové oceli je poměrně malé ve srovnání s použitím uhlíkových ocelí, ale vykazují stálý růst narozdíl od konstrukčních ocelí. [7]

V roce 2018 byla celosvětová produkce korozivzdorné oceli měřena kolem 50,7 miliónů tun. Během uplynulého desetiletí se tento údaj výrazně zvýšil, například v roce 2009 nepřekročila celosvětová produkce 30 miliónů tun. [8]



obrázek 4.1 – Celosvětová produkce korozivzdorné oceli od roku 2005 do 2018 [8]

Korozivzdorné oceli jsou ušlechtilé vysoce legované oceli, které obsahují minimálně 10,5 % chromu. Mezi další legující prvky, které zvyšují korozní odolnost patří např. nikl a molybden. Kromě těchto prvků lze ještě dolegovávat jinými prvky, které pozitivně ovlivňují další vlastnosti, např. niob, titan (odolnost proti mezikrystalové korozi), dusík (pevnost, korozní odolnost) a síra (obrobitelnost). [9]

4.1 Značení korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli se značí několika způsoby. Klasické značení dle ČSN 42 0002 řadí korozivzdorné oceli do třídy 17 a značení je tvaru **17 XXX**. První číslice 1 značí tvářenou ocel, 7 korozivzdornou ocel a zbylé číslice označují hlavní legující prvky. [10]

V současné době se používá označení podle EN 10 027-1 a ČSN CR 10 260 kombinací písmen a číslic **X nnn aaa n-n**, kde:

X – značí korozivzdornou ocel,

nnn – značí 100x střední obsah uhlíku,

aaa – označuje značky legujících prvků podle sestupného obsahu,

n-n – značí střední obsah legujících prvků v pořadí podle “aaa”. [10] [11]

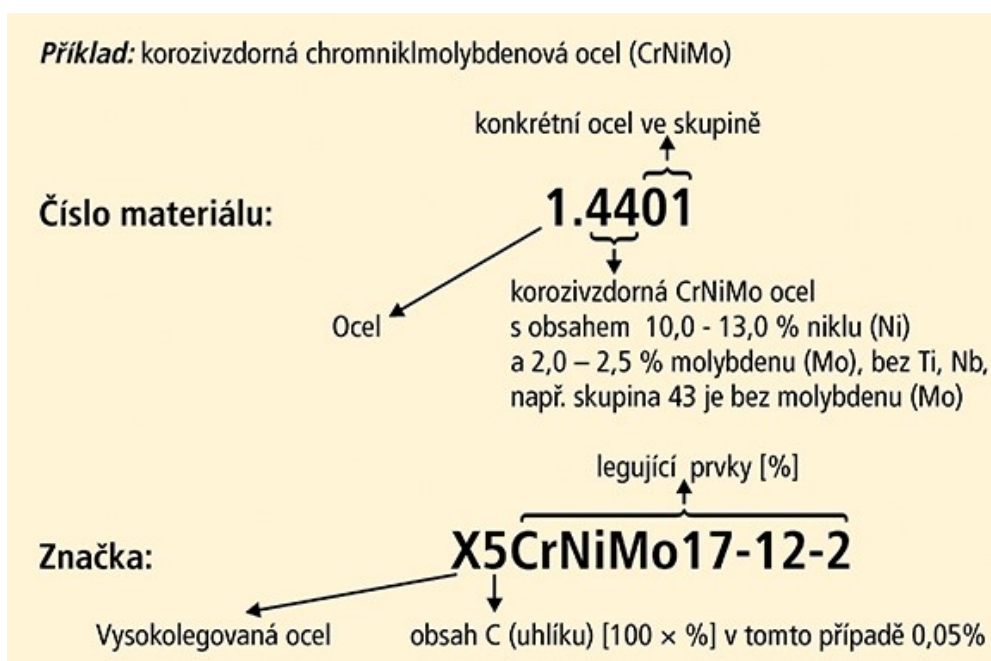
Podle EN 10 027-2 lze tyto oceli označovat také ve zkrácené číselné formě podle schématu **1.4XXY**, kde:

1 – označuje ocel,

4 – označuje ocel korozivzdornou,

X – upřesňuje obsah legujících prvků,

YY – blíže specifikují ocel. [10] [11]



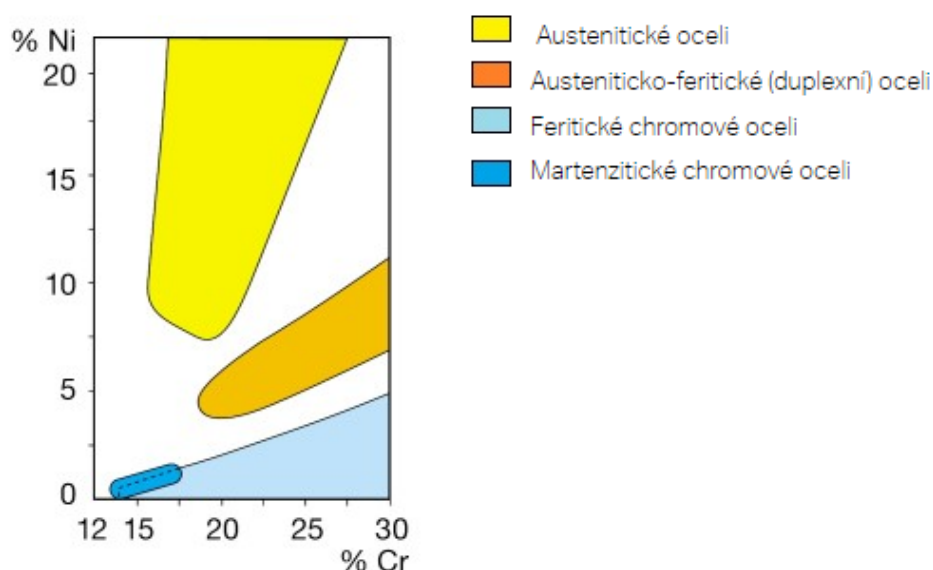
obrázek 4.2 – Značení korozivzdorných ocelí

Zdroj: <http://www.topin.cz/clanky/korozivzdorne-oceli-a-jejich-pouziti-v-oblasti-technickeho-zarizeni-budov-detail-5207>

4.2 Rozdělení podle struktury

Struktura ocelí závisí především na jejím chemickém složení, přičemž největší vliv mají prvky chrom a nikl. Vzhledem k tomu, že struktura má převážný vliv na vlastnosti materiálu, byly korozivzdorné oceli rozděleny do 4 hlavních skupin:

- martenzitické,
- feritické,
- austenitické,
- austeniticko-feritické (duplexní). [7] [10] [15]



obrázek 4.3 – Diagram chemického složení různých typů korozivzdorných ocelí [15]

4.2.1 Martenzitické oceli

Jsou to oceli s obsahem chromu do 18 % a uhlíku do 1,5 %, které po zakalení vykazují martenzitickou strukturu. Při vysokých teplotách jsou tyto oceli austenitické. Nejlepší korozní odolnost je u kvalitních, nejlépe leštěných povrchů. Čím mají tyto oceli větší obsah uhlíku, tím jsou tvrdší. Nevýhodou martenzitických ocelí je náchylnost na křehnutí. Tyto oceli se dále dělí na martenzitické oceli s niklem a bez niklu. [9] [10]

Hlavní použití mají v přírodních podmínkách, pro lopatky vodních turbín, v chemickém a energetickém průmyslu. Martenzitické oceli s vyšším obsahem uhlíku se používají pro chirurgické nástroje. [10]

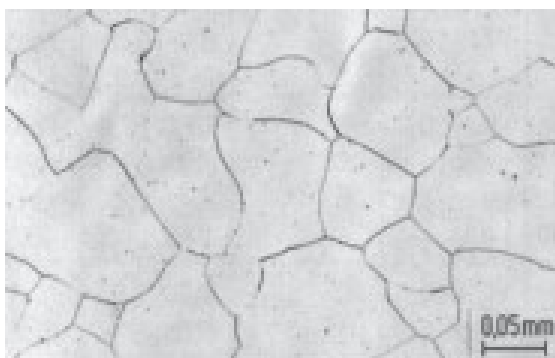


obrázek 4.4 – Martenzitická struktura [9]

4.2.2 Feritické oceli

Feritické oceli obsahují zpravidla 13 až 30 % chromu a obsah uhlíku je pod 0,1 %. Nejsou kalitelné a jejich pevnost je vyšší než u nelegované uhlíkaté oceli. Tyto oceli jsou svařitelné, magnetické a odolné proti koroznímu praskání. Nevýhodou je náchylnost ke křehnutí za vysokých teplot. Feritické oceli se dělí na několik typů podle obsahu chromu. [10]

Feritické oceli se používají v potravinářském i chemickém průmyslu, jako potrubí čerpadel. Dále se používají v automobilovém průmyslu a architektuře. Feritické oceli s obsahem 20 až 30 % chromu a 0,1 až 0,2 % uhlíku se používají jako žáruvzdorné pro použití za vysokých teplot. [10]



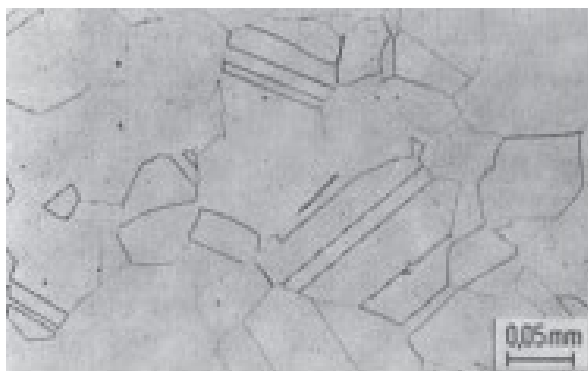
obrázek 4.5 – Feritická struktura [9]

4.2.3 Austenitické oceli

Jsou to nejčastěji používané oceli s obsahem chromu 17 až 18 % a 8 až 11 % niklu. Obsah uhlíku bývá okolo 0,08 %. Vyznačují se vysokou korozní odolností, která se zvyšuje s narůstajícím obsahem legujících prvků. Zvyšování korozní odolnosti nejvíc napomáhá zejména chrom a molybden. Svou austenitickou strukturu si udržují za normálních

i minusových teplot. Austenitické oceli nejsou kalitelné. Tyto oceli jsou hůře obrobitelné. Zlepšení obrobitelnosti lze dosáhnout legováním sírou, selenem a olovem, ale za cenu snížení korozní odolnosti. Podle složení se austenitické oceli dělí na chromniklové, chromniklmolybdenové a chrommanganové. [9] [12] [13]

Použití austenitických ocelí se nalézá v chemickém průmyslu pro všeobecné použití a v potravinářském průmyslu. Další použití je v prostředích průmyslových vod a mořské vody. [13]



obrázek 4.6 – Austenitická struktura [9]

Z austenitických ocelí jsem vybral ocel 1.4404 (X2CrNiMo 17-12-2) od výrobce Sandvik Materials Technology.

Tabulka 4.1 – Chemické složení oceli 1.4404 [18]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]
≤0,030	0,3	1,8	≤0,040	≤0,030	17	10	2,1

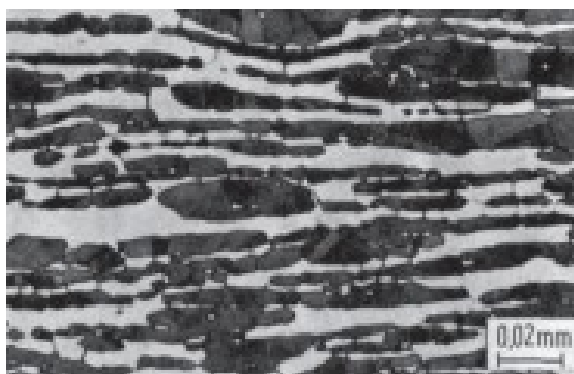
Tabulka 4.2 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4404 [18]

R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	Z [%]	Tvrdost [HB]
≥205	515-690	≥40	≥50	≤215

4.2.4 Austeniticko-feritické oceli

Austeniticko-feritické, nazývané také jako duplexní oceli, jsou tvořeny strukturou austenitickou i feritickou. Takováto směs struktur umožňuje tvorbu jemnějšího zrna v obou strukturách. Obvyklé množství prvků je 20 až 26 % chromu, 1 až 8 % niklu, 0,05 až 0,5 % molybdenu a 0,05 až 0,3 % dusíku. V žíhaném stavu jsou zhruba dvakrát pevnější než austenitické oceli. Tato skutečnost umožňuje použití těchto ocelí u konstrukcí citlivých na vlastní váhu, jako jsou třeba mosty. Jsou svařitelné a dobře odolávají koroznímu praskání. [9] [12] [14]

Austeniticko-feritické oceli se využívají v chemickém průmyslu, kde je lze použít v prostředí působení kyseliny sírové a fosforečné. Další uplatnění mají v zařízeních pro ochranu životního prostředí a v technice pro moře a pobřeží. [9] [12] [14]



obrázek 4.7 – Austeniticko-feritická struktura [9]

Z této skupiny ocelí jsem pro experiment vybral ocel 1.4462 (X2CrNiMoN 22-5-3) od výrobce Sandvik Materials Technology.

Tabulka 4.3 – Chemické složení oceli 1.4462 [19]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	N [%]
≤0,030	≤1,0	≤2,0	≤0,030	≤0,015	22,5	5,5	3,2	0,18

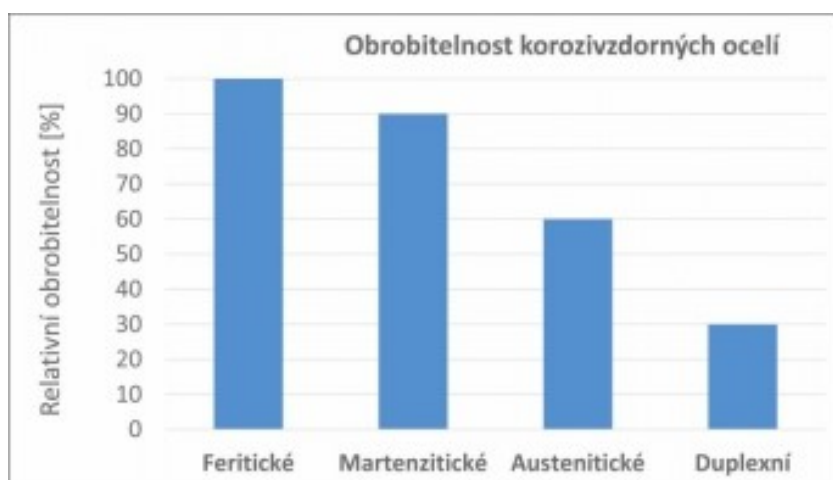
Tabulka 4.4 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4462 [19]

R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	Tvrdost [HB]
≥450	660-860	≥25	≤270

4.3 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

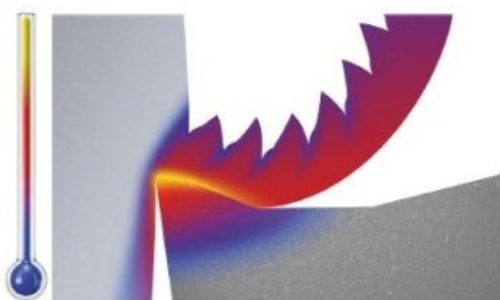
Obecně lze říct, že nejlépe obrobitelné korozivzdorné oceli jsou feritické materiály, které se dají srovnávat s nízkolegovanými ocelmi. Naopak duplexní materiály s vysokým obsahem chromu jsou velmi náročné na břit nástroje. Běžné austenitické materiály lze zařadit někde mezi feritické a duplexní materiály. Korozivzdorné oceli patří do skupiny materiálů ISO M. Obrobitelnost korozivzdorných ocelí se liší i v závislosti na množství legujících prvků, přičemž s rostoucím obsahem legujících prvků obrobitelnost klesá. [11] [15]

Korozivzdorné oceli tvoří dlouhé třísky. Utváření třísky u feritických a martenzitických ocelí je celkově bezproblémové, ale u austenitických a duplexních ocelí bývá utváření třísky složitější. Při obrábění vznikají značné řezné síly, tvoří se nárůstek na břitu, velké množství tepla a dochází k mechanickému zpevňování povrchu. Pro zlepšení obrobitelnosti se využívá síra. [15]



obrázek 4.8 – Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

Zdroj: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/ze-zivota-vyzkumneho-centra/cesty-ke-zvyseni-efektivnosti-obrabecich-stroju_35953.html



obrázek 4.9 – Odvod tepla při tvorbě třísky u korozivzdorných ocelí [15]

4.4 Obrábění korozivzdorných ocelí

Mezi základní pravidla obrábění korozivzdorných ocelí patří správná volba silné břitové destičky s ostrou geometrií. Jelikož tyto oceli patří do skupiny materiálů ISO M, používají se pro obrábění destičky ze slinutých karbidů skupiny M. Důležité je použít velkou hloubku řezu a velký posuv. Břitová destička by se měla pravidelně měnit z důvodu omezení velkého opotřebení. Je dobré omezit vznik tepla pomocí chlazení v místě řezu a silnou třískou s dostatečným objemem pro maximální odvod tepla. Při malých hloubkách řezu a posuvech se musí řezná rychlost navýšit tak, aby byla dosažena správná teplota v řezu. [16] [17]

4.4.1 Soustružení korozivzdorných ocelí

Při soustružení je třeba zvolit silnou břitovou destičku s ostrou geometrií. Pozitivní T-fazetka napomáhá předcházet problémům s nárůstkem na břitu a minimalizuje řezné síly. Dobré je zvolit velký rádius špičky, použít velké hloubky řezu a velký posuv. Pro hrubování je dobré používat houževnaté karbidové třídy nástrojových materiálů a pro dokončování tvrdé karbidové třídy. Pravidelně měnit nebo otáčet břitovou destičku. Je potřeba chladit místo řezu a vytvářet silnou třísku pro odvod tepla. [16]



obrázek 4.10 – Soustružení korozivzdorných ocelí

Zdroj: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/how-to-do-turning-in-different-materials.aspx>

4.4.2 Frézování korozivzdorných ocelí

Stejně jak u soustružení je potřeba zvolit silnou břitovou destičku s ostrou geometrií. Správná je volba silné geometrie a velké hloubky řezu a posuvy. Je vhodné vybírat nástroj s menším úhlem řezu. Pro hrubování je dobré používat houževnaté karbidové třídy nástrojových materiálů a pro dokončování tvrdé karbidové třídy. Břitová destička se musí pravidelně měnit nebo otáčet. Při menších hloubkách řezu je nutné zvýšit řeznou rychlost. Řez se musí provádět pod tvrdou povrchovou vrstvou, čehož se dosáhne pomocí sousledného frézování. Pro frézování korozivzdorných ocelí je vhodné použít vysokorychlostní chlazení. [16]

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato bakalářská práce je zaměřená na rozdíly obrábění korozivzdorné a konstrukční oceli. Pro pozorování jsem vybral tři různé materiály, ze kterých byl vyroben stejný výrobek (viz příloha 1). Jako zástupce konstrukční oceli jsem zvolil ocel S355J2+AR, za zástupce korozivzdorné austenitické oceli jsem zvolil ocel 1.4404 a poslední materiál je duplexní ocel 1.4462. Experiment bude realizován ve firmě CS STEEL a.s.

Jelikož patří konstrukční oceli do materiálové skupiny ISO P a korozivzdorné oceli do materiálové skupiny ISO M, byly použity i různé nástroje a břitové destičky, které jsou určené pro danou skupinu. K tomuto se vztahuje i fakt, že nelegované konstrukční oceli obvyklé jakosti by v žádném případě neměly přijít do styku s legovanými korozivzdornými oceli. I sebemenší částičky nelegované oceli mají negativní vliv na korozivzdorné oceli, a to narušením materiálové struktury a ocel pak ztrácí korozní odolnost.

Cílem práce je porovnat použité řezné podmínky při různých materiálech a porovnání celkových pracovních časů.

5.1 Použité stroje a nástroje

5.1.1 Pásová pila

Pro řezání byla použita automatická pásová pila **KASTOwin A 4.6**. Pily řady KASTOwin jsou navrženy pro sériové řezání plných tyčových materiálů, trubek a profilů. Díky moderní svařované konstrukci, která stabilizuje vibrace, se vyznačují mimořádně hladkým chodem a vysokým řezným výkonem. [26]



obrázek 5.1 – Pásová pila KASTOwin A 4.6 [26]

Tabulka 5.1 – Technické parametry pily KASTOwin A 4.6 [26]

Parametry řezu	
Maximální řezná plocha (výška x šířka) [mm]	460 x 460
Nejmenší možný průměr řezu [mm]	10
Nejkratší řez při automatickém řezání [mm]	35
Nejkratší řez [mm]	10
Rozměry stroje	
Délka x šířka x výška [mm]	1650 x 2940 x 2030
Výkonnostní parametry	
Příkon [kW]	6
Výkon motoru [kW]	4
Řezná rychlost [m/min]	12-150
Délka podavače materiálu [mm]	500
Rozměry pilového pásu (délka x výška x šířka) [mm]	6096 x 54 x 1,3
Upínání materiálu	Hydraulické

5.1.2 Pilové pásy

K řezání oceli S355J2+AR byl použit pilový pás **Simonds SiClone**. Tento pás se používá pro sériové řezání hutního materiálu, plných materiálů (kulatina, hranol) a tlustostěnných profilů. Pás je vhodný k řezání konstrukční oceli, legované oceli, korozivzdorné oceli, nástrojové oceli apod. [27]

Tabulka 5.2 – Parametry pilového pásu Simonds SiClone [27]

Délka [mm]	Výška x šířka [mm]	Počet zubů na palec
6096	41 x 1,3	2/3

Pro řezání korozivzdorných ocelí byl použit pilový pás **LENOX VERSA PRO**. Jedná se o univerzální karbidový pilový pás s pájenými destičkami. Pás je vhodný k řezání nerezové a nástrojové oceli, niklové slitiny, titanové slitiny apod. Díky volbě tohoto typu pásu bylo možné použít řádově vyšší řezné podmínky, než jaké dovoluje použití pásu Simonds SiClone. Bez použití tohoto pásu by byl rozdíl času řezání o poznání větší. Nevýhodou je vysoká cena pásu, která je až desetkrát větší než cena pásu Simonds SiClone. [28]

Tabulka 5.3 – Parametry pilového pásu LENOX VERSA PRO [28]

Délka [mm]	Výška x šířka [mm]	Počet zubů na palec
6096	41 x 1,27	1,4/2

5.2 Soustruhy

Pro soustružení byly použity dva soustruhy. Pro hrubování díry byl použit soustruh SPR 100 CNC a pro další hrubování a dokončení soustruh DMG MORI CTX 510 ecoline. Při hrubování vznikají větší síly a rázy, které by mohly narušit přesnost stroje, a proto se použil soustruh SPR 100 CNC, který má větší tuhost vedení. Na soustruhu CTX 510 ecoline se pracuje s přesností řádu setin, proto se použil k menším hrubovacím úsekům a k přesnému dokončení dílů, aby nedošlo k případným změnám v přesnosti stroje.

Soustruh **SPR 100 CNC** je revolverový poloautomat určený k obrábění oceli, litiny a barevných kovů pro sériovou nebo kusovou výrobu rotačních součástí. Obrábět lze vnější i vnitřní válcové plochy, kuželové i kulové, vrtat nebo řezat závity v ose vřetena. Stroj je řízen systémem SIEMENS SINUMERIK 840 D. [29]



obrázek 5.2 – Soustruh SPR 100 CNC [29]

Tabulka 5.4 – Technické parametry soustruhu SPR 100 CNC [29]

Pracovní rozsah	
Oběžný průměr nad ložem [mm]	450
Průměr sklíčidla [mm]	250
Max. délka soustružení [mm]	250
Max. průměr obrábění [mm]	350
Rozměry stroje	
Délka x šířka x výška [mm]	3800 x 1700 x 2600
Výkonnostní parametry stroje	
Otáčky vřetena [ot/min]	0-2300
Pracovní posuv v osách X, Z [m/min]	10
Rychloposuv v osách X, Z [m/min]	20
Výkon hlavního motoru [kW]	28
Počet nástrojů v zásobníku	12

Soustruh **CTX 510 ecoline** od výrobce DMG MORI je revolverový soustruh pro univerzální obrábění. Stroj je řízen systémem Siemens 840D SL. [32]



obrázek 5.3 – Soustruh CTX 510 ecoline

Zdroj: <https://en.industryarena.com/dmgmori/gallery/ctx-510-ecoline--1740.html>

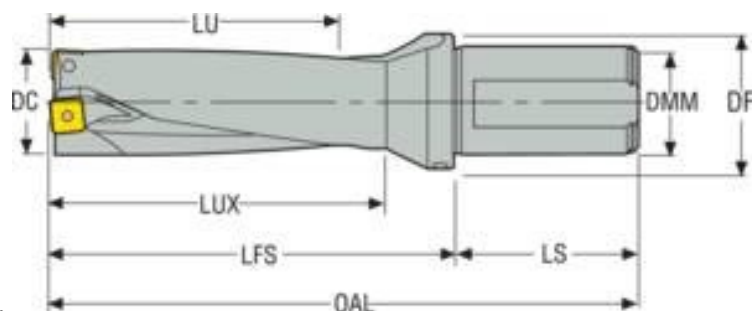
Tabulka 5.5 – Technické parametry soustruhu CTX 510 ecoline [32]

Pracovní rozsah	
Oběžný průměr nad ložem [mm]	680
Průměr sklíčidla [mm]	250-315
Max. délka soustružení [mm]	1050
Max. průměr obrábění [mm]	300
Rozměry stroje	
Délka x šířka x výška [mm]	5320 x 2414 x 2035
Výkonnostní parametry stroje	
Max. otáčky vřetena [ot/min]	3250
Rychloposuv X/Y/Z [m/min]	30/10/30
Výkon hlavního motoru [kW]	33
Počet nástrojů v zásobníku	12

5.2.1 Soustružnické nástroje

Vzhledem k velkému počtu použitých nástrojů zde uvedu pár základních použitých soustružnických nástrojů a vybrané vyměnitelné břitové destičky.

- Vrták ø56 mm **SD523-56-168-40R7** od společnosti Seco:



obrázek 5.4 – Vrták ø56 mm

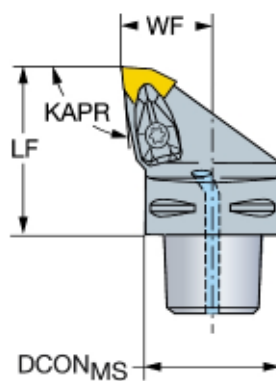
Zdroj: https://www.secotools.com/article/p_03080684

Tabulka 5.6 – Parametry vrtáku SD523-56-168-40R7

DC [mm]	LUX [mm]	OAL [mm]	LS [mm]	DMM [mm]
56	173	266	68	40

Vyměnitelné břitové destičky pro vrták byly použity **XPET 1904AP-SD** a **SCET 150512-SD**, od společnosti PRAMET, které jsou vhodné a obrábění ISO M a mají i alternativní použití pro obrábění ISO P.

- Ubírací nůž levý vnější **C4-DWLNL-27050-08** od společnosti Sandvik coromant:



obrázek 5.5 – Ubírací nůž levý vnější

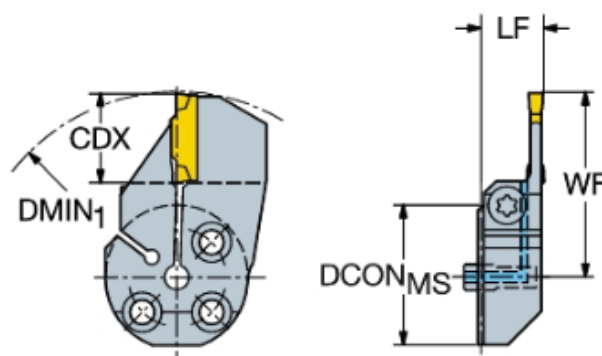
Zdroj: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/productdetails.aspx?c=c4-dwlntl-27050-08>

Tabulka 5.7 – Parametry C4-DWLNL-27050-08

WF [mm]	LF [mm]	DCON [mm]	KAPR [°]
27	50	40	95

Pro obrábění oceli S355J2+AR se použily vyměnitelné břitové destičky **WNMG 08 04 12-QM 4335**, které jsou vhodné pro obrábění ISO P. Pro obrábění ocelí 1.4404 a 1.4462 byly použity destičky **WNMG 08 04 12-QM 2220**, které jsou určené pro obrábění ISO M. Tyto destičky se liší zejména v chemickém složení, ze kterého se pak odvíjí i mechanické vlastnosti.

- Hlava CoroCut pro zapichování od společnosti Sandvik coromant:



obrázek 5.6 – Hlava CoroCut pro zapichování

Zdroj: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=570-40r123g18b>

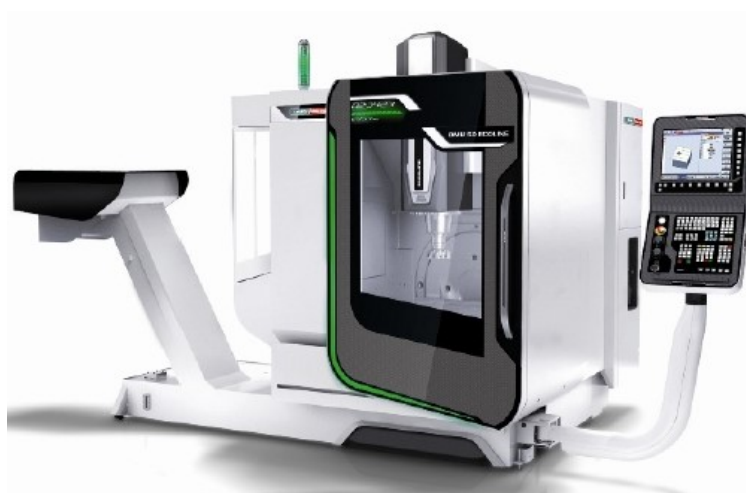
Tabulka 5.8 – Parametry hlavy CoroCut pro zapichování

CDX [mm]	DMIN ₁ [mm]	DCON [mm]	LF [mm]	WF [mm]
18	147	40	14	45,1

K zapichování byl použit typ břitových destiček **N123G2-0300-0003-TF 1145**, které jsou vhodné pro obrábění obou druhů ocelí.

5.3 Frézka

Frézování probíhalo na frézce DMU 50 eco od výrobce DMG MORI. Jedná se o pětiosý univerzální frézovací stroj. Frézka se vyznačuje vynikající přístupností velkého pracovního prostoru. Výměna nástrojů ze zásobníku je umožněna pomocí Pick-up výměníku. Stroj je řízen 3D systémem Siemens 840 SL. [31]



obrázek 5.7 – Frézka DMU 50 eco [31]

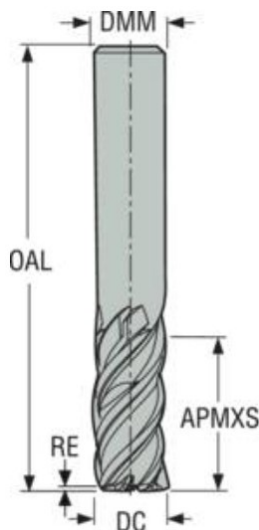
Tabulka 5.9 – Technické parametry frézky DMU 50 eco [31]

Pracovní rozsah	
Maximální pojezdy X/Y/Z [mm]	500/450/400
Upínací plocha [mm]	630 x 500
Rozsah naklápění stolu v ose B [°]	-5 až + 110
Otáčení stolu v ose C [°]	360
Rozměry stroje	
Délka x šířka x výška [mm]	4275 x 2720 x 2465
Výkonnostní parametry stroje	
Otáčky vřetena [ot/min]	20-8000
Max. pracovní posuv [m/min]	12
Rychloposuv [m/min]	24
Výkon hlavního motoru [kW]	13
Počet nástrojů v zásobníku	30

5.3.1 Frézovací nástroje

K frézování všech druhů materiálů byly použity monolitní frézy a vrtáky. Aby se dodržela hygiena materiálu, byly nástroje vyměněny za identický nástroj. Stejně jako u soustružení, uvedu zde pár vybraných frézovacích nástrojů.

- Čelní válcová fréza $\varnothing 16$ mm čtyřbřitá od společnosti Seco:



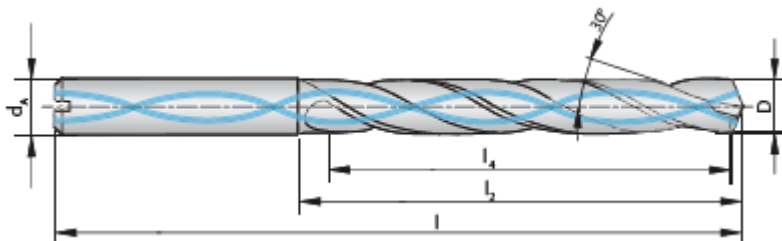
obrázek 5.8 – Válcová fréza čelní

Zdroj: https://www.secotools.com/article/p_02679560?language=en

Tabulka 5.10 – Parametry čelní válcové frézy

DC [mm]	APMXS [mm]	OAL [mm]	DMM [mm]
16	34	90	16

- Vrták $\varnothing 13$ mm od výrobce ARNO:



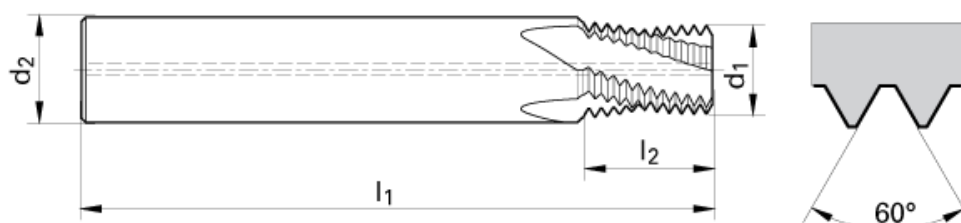
obrázek 5.9 – Vrták $\varnothing 13$ mm

Zdroj: <https://www.tmccr.cz/obrabeni/arno/vrtani/monolitni-spiralovite-vrtaky/>

Tabulka 5.11 – Parametry vrtáku ø 13 mm

D [mm]	d _a [mm]	l [mm]	l ₂ [mm]	l ₄ [mm]
13	14	124	77	65

- Závítová fréza pro závit G3/8 od společnosti Gühring:



obrázek 5.10 – Závítová fréza G3/8

Zdroj: <https://www.guhring.com/ProductsServices/SizeDetails?EDP=9037540175700>

Tabulka 5.12 – Parametry závítové frézy G3/8

d ₂ [mm]	d ₁ [mm]	l ₁ [mm]	l ₂ [mm]
14	12,2	80	14,82

5.4 Technologický postup výroby

Technologický postup výroby byl sestaven dle firmy, jelikož se jedná o kusy, které se zde běžně vyrábí. Technologický postup je shodný pro všechny druhy materiálu, lišit se budou pouze pásy, vyměnitelné břitové destičky a řezné podmínky. Zde uvádím rámcový technologický postup výroby. V příloze 2 jsem vypracoval úplný technologický postup výroby s řeznými podmínkami pro konstrukční ocel S355J2+AR.

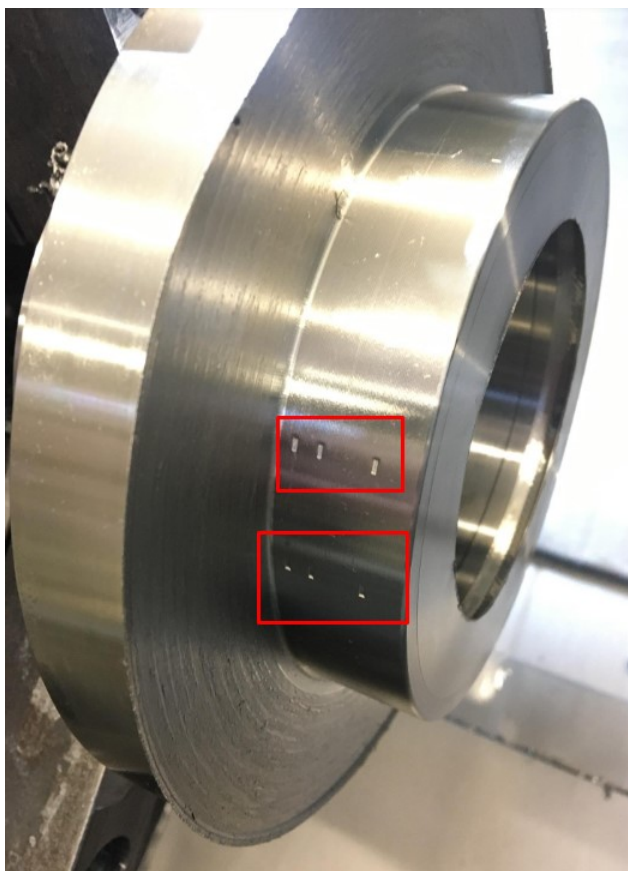
Číslo operace	Popis operace
1.	Dělit na pásové pile
1.1	Řezat tyč ø230 mm na délku l = 94 mm
2.	Soustružit na stroji SPR 100 CNC
2.1	Vrtat díru ø56 mm skrz vše
2.2	Hrubovat díru na ø95 mm skrz vše
3.	Soustružení na stroji DMG CTX 510 ecoline
3.1	Soustružit stranu A
3.1.1	Zarovnat čelo na l = 92 mm

3.1.2	Hrubovat na $\varnothing 140$ mm po délce $l = 26$ mm
3.1.3	Otočit obrobek
3.2	Soustružit stranu B
3.2.1	Zarovnat čelo na $l = 90,15$ mm
3.2.2	Hrubovat na $\varnothing 210,20$ mm po délce $l = 61$ mm
3.2.3	Hrubovat na $\varnothing 180,20$ mm po délce $l = 39,90$ mm
3.2.4	Hrubovat na $\varnothing 140$ mm po délce $l = 19,90$ mm s ohledem na zkosení $20 \times 45^\circ$
3.2.5	Hrubovat díru $\varnothing 105,45$ mm po délce $l = 88,90$ mm
3.2.6	Hrubovat díru $\varnothing 106,35$ mm po délce $l = 74,90$ mm
3.2.7	Hrubovat díru $\varnothing 125,85$ mm po délce $l = 46,90$ mm s ohledem na zkosení $3 \times 45^\circ$
3.2.8	Soustružit na čisto čelo na $l = 90$ mm
3.2.9	Soustružit na čisto $\varnothing 140$ po délce 20 mm
3.2.10	Soustružit na čisto zkosení $20 \times 45^\circ$
3.2.11	Soustružit na čisto délku $l = 40$ mm z $\varnothing 180$ mm po $\varnothing 210$ mm
3.2.12	Soustružit na čisto na $\varnothing 210$ mm po délce $l = 20$ mm
3.2.13	Soustružit na čisto díru $\varnothing 126$ mm po délce $l = 44$ mm
3.2.14	Soustružit na čisto zkosení $3 \times 45^\circ$
3.2.15	Soustružit na čisto délku $l = 47$ mm z $\varnothing 120$ po $\varnothing 106,60$ mm
3.2.16	Soustružit na čisto díru $\varnothing 106,60$ mm po délce $l = 75$ mm
3.2.17	Soustružit na čisto délku $l = 75$ mm z $\varnothing 106,6$ mm po $\varnothing 105,7$ mm
3.2.18	Soustružit na čisto díru $\varnothing 105,7$ mm po délce 14 mm
3.2.19	Otočit obrobek
3.3	Soustružit stranu A
3.3.1	Hrubovat čelo na $l = 88,15$ mm
3.3.2	Hrubovat délku $l = 26,85$ z $\varnothing 210$ mm po $\varnothing 140$ mm
3.3.3	Hrubovat délku $l = 27,85$ z $\varnothing 210$ mm po $\varnothing 149,20$ mm
3.3.4	Hrubovat na $\varnothing 132,40$ mm po délce $l = 26,85$ mm
3.3.5	Hrubovat díru $\varnothing 107,75$ mm po délce $l = 8,40$ mm
3.3.6	Hrubovat vnější zápich na $\varnothing 126,15$ mm šířky $l = 4,30$ mm
3.3.7	Soustružit na čisto vnější zápich na $\varnothing 126^{-0,1}$ mm šířky $4,6^{+0,1}$ mm
3.3.8	Hrubovat vnitřní zápich na $\varnothing 15$ mm šířky $l = 6,5$ mm
3.3.9	Hrubovat vnitřní zápich na $\varnothing 111,5$ mm šířky $l = 4,2$ mm
3.3.10	Soustružit na čisto vnitřní zápich na $\varnothing 115,2^{+0,1}$ mm šířky $6,9^{+0,1}$ mm
3.3.11	Soustružit na čisto zápich na $\varnothing 111,7^{+0,1}$ mm šířky $4,6^{+0,1}$ mm
3.3.12	Soustružit na čisto délku $l = 28$ mm z $\varnothing 210$ mm po $\varnothing 149$ mm
3.3.13	Soustružit na čisto $\varnothing 149$ mm po délce $l = 1$ mm
3.3.14	Soustružit na čisto délku 27 mm z $\varnothing 149$ mm po $\varnothing 132,40$ mm
3.3.15	Soustružit na čisto $\varnothing 132$ f7 po délce $l = 27$ mm
3.3.16	Soustružit na čisto čelo na $l = 88$ mm
3.3.17	Soustružit na čisto díru $\varnothing 108$ mm po délce $1,6$ mm
4.	Frézovat na stroji DMG DMU 50 eco
4.1	Pootočít stůl v ose C o 30° a hrubovat 4x sedlo pro šroub R17,5 na $\varnothing 180$ mm
4.2	Frézovat na čisto 4x sedlo pro šroub R17,5 na kružnici
4.3	Vrtat 4x díru $\varnothing 17,5$ mm skrz vše na kružnici $\varnothing 180$ mm
4.4	Otočit stůl v ose B na 90° a vrtat díru pro frézování drážky skrz vše
4.5	Otočit stůl v ose C o 180° a vrtat díru pro frézování drážky skrz vše
4.6	Hrubovat drážku $13,5 \times 20$ mm skrz vše

4.7	Frézovat drážku 13,5 x 20 mm skrz vše na čisto
4.8	Otočit stůl v ose C o 180° a Hrubovat drážku 13,5 x 20 mm skrz vše
4.9	Frézovat drážku 13,5 x 20 mm skrz vše na čisto
4.10	Otočit stůl v ose B na 45° a v ose C na 0° a frézovat díru ø15,2 mm do hloubky 15 mm
4.11	Otočit stůl v ose C o 180° a frézovat díru ø15,2 mm do hloubky 15 mm
4.12	Frézovat závit G3/8 do hloubky 13 mm
4.13	Otočit stůl v ose C o 180° a frézovat závit G3/8 do hloubky 13 mm
4.14	Vrtat díru ø6 mm 2x po 180° skrz vše
5.	Kontrola, Zkosení ostrých hran, Očištění

Jak už bylo výše uvedeno, soustružení probíhalo na dvou soustruzích. Všechny kusy se nakonec musely soustružit na čtyřikrát.

První soustružení probíhalo na soustruhu SPR 100 CNC, aby se nenarušila přesnost soustruhu CTX 510 ecoline. Na soustruhu CTX 510 ecoline se díly otáčely celkem dvakrát z toho důvodu, že bylo zapotřebí první silnější upnutí, kvůli hrubování, což mělo za následek nežádoucí stopy na povrchu obrobku, které se po druhém otočení odstranily.



obrázek 5.11 – Stopy po upnutí do čelistí při soustružení

5.5 Porovnání řezných podmínek a srovnání celkových strojních časů



obrázek 5.12 – Hotové výrobky experimentu

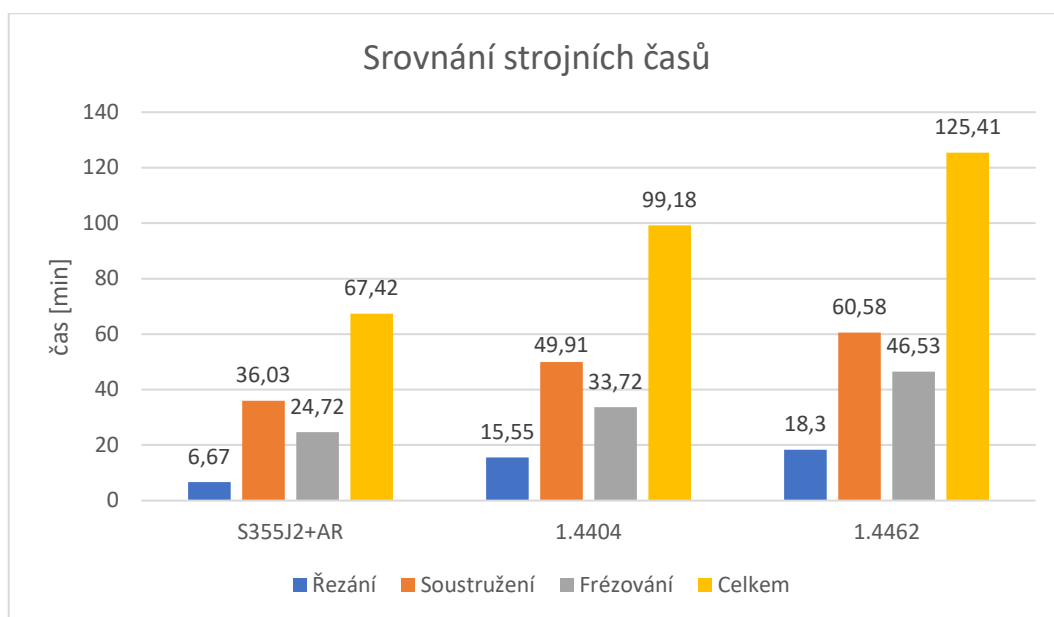
Tabulka 5.13 – Srovnání řezných podmínek a celkových strojních časů

Operace	Úsek	Řezné podmínky	S355J2+AR	1.4404	1.4462
Dělení materiálu	Řezání	v _c [m/min]	91	40	22
		v _f [mm/min]	55	16	6
čas		t [min]	6,67	15,55	18,3
Soustružení SPR 100 CNC	Vrtání	v _c [m/min]	150	130	90
		f _n [mm]	0,15	0,12	0,1
	Hrubování	v _c [m/min]	130	120	90
		f _n [mm]	0,3	0,3	0,2
		a _p [mm]	3	2,5	2
čas		t [min]	5,88	7,78	12,88
Soustružení CTX 510 ecoline	Hrubování	v _c [m/min]	180	140	120
		f _n [mm]	0,4	0,35	0,3
		a _p [mm]	3	2,7	2,7
	Dokončování	v _c [m/min]	180	150	150
		f _n [mm]	0,12	0,12	0,12
		a _p [mm]	0,2	0,2	0,2
	Hrubování zápichu	v _c [m/min]	140	120	120
		f _n [mm]	0,1	0,1	0,1
		a _p [mm]	2	1	1
	Dokončování zápichu	v _c [m/min]	90	60	60
		f _n [mm]	0,15	0,15	0,15
		a _p [mm]	0,15	0,15	0,15
čas		t [min]	30,15	42,13	47,7

Frézování DMU 50 eco	Hrubování sedla	v_c [m/min]	80	50	45
		f_z [mm]	0,035	0,05	0,042
		a_p [mm]	4	3,3	2,5
	Dokončování sedla	v_c [m/min]	80	50	45
		f_z [mm]	0,075	0,035	0,029
		a_p [mm]	0,15	0,1	0,1
	Vrtání $\varnothing 17,5$	v_c [m/min]	80	50	40
		f_n [mm]	0,095	0,065	0,055
		a_p [mm]	-	0,5	0,5
	Hrubování drážky	v_c [m/min]	80	50	40
		f_z [mm]	0,025	0,03	0,28
		a_p [mm]	2	2	2
	Dokončování drážky	v_c [m/min]	80	50	40
		f_z [mm]	0,04	0,04	0,035
		a_p [mm]	0,1	0,1	0,1
	Vrtání $\varnothing 15,2$	v_c [m/min]	80	50	40
		f_n [mm]	0,068	0,048	0,04
		a_p [mm]	-	0,5	0,5
	Frézování závitů G3/8	v_c [m/min]	51,3	51,3	45
		f_z [mm]	0,06	0,06	0,06
	Vrtání $\varnothing 6$	v_c [m/min]	50	50	40
		f_n [mm]	0,051	0,051	0,041
		a_p [mm]	-	0,58	0,58
čas	t [min]	24,72	33,72	46,53	

Řezné podmínky pro různé materiály byly zvoleny obsluhou CNC strojů s dlouholetou praxí. Některé řezné podmínky bylo třeba upravit během obrábění, podle chování nástroje v záběru a tvory třísky. Z tabulky je zřejmé, že s tvrdším materiálem řezná rychlost klesá, to platí i u posuvu a hloubky třísky. V některých případech se posuv s tvrdším materiálem zvýšil, kvůli zlepšení tvorby třísky. U vrtání na frézce se u materiálu S355J2+AR nezaznamenala hloubka třísky, protože se díra vrtala bez přerušování na jeden záběr. Strojní časy byly odečítány z ovládacího systému stroje.

Zajímavostí je, že nejlepší jakost povrchu má výrobek z oceli 1.4462. Je to dáno z důvodu, že u duplexní oceli 1.4462 byly použity u hrubování i dokončování nejmenší rychlosti posuvu, což má za následek lepší kvalitu obrobeného povrchu.



obrázek 5.13 – Grafické srovnání strojních časů

Z výsledných hodnot výrobních časů je zřejmé, že konstrukční ocel S355J2+AR byla obrobena nejrychleji. Naopak nejdéle se obráběla duplexní ocel 1.4462, a to téměř dvojnásobek času jako ocel konstrukční. Korozivzdorná austenitická ocel 1.4404 se pohybuje v polovině časového rozdílu konstrukční a duplexní oceli.

Tabulka 5.14 – Průměrné srovnání řezných podmínek v procentech

Operace	Řezné podmínky	S355J2+AR	1.4404	1.4462
Řezání	v_c [m/min]	100,00	43,96	24,18
	v_f [mm/min]	100,00	29,09	10,91
Soustružení	v_c [m/min]	100,00	82,08	71,94
	f_n [mm]	100,00	94,58	84,72
	a_p [mm]	100,00	74,44	68,89
Frézování	v_c [m/min]	100,00	71,88	60,03
	f_n [mm]	100,00	79,67	65,70
	f_z [mm]	100,00	101,90	92,67
	a_p [mm]	100,00	82,50	62,50

Příklad výpočtu průměrné procentuální řezné rychlosti soustružení oceli 1.4404 v porovnání s ocelí S355J2+AR:

$$\frac{\left(\frac{130}{150} + \frac{120}{130} + \frac{140}{180} + \frac{150}{180} + \frac{120}{140} + \frac{60}{90}\right) \cdot 100}{6} = 82,08 \%$$

Z tabulky 5.14 můžeme zjistit, že řezná rychlost řezání korozivzdorné duplexní oceli 1.4462 je průměrně o 75,82 % nižší, než řezání konstrukční oceli S355J2+AR. Řezná rychlost při soustružení duplexní oceli 1.4462 je průměrně o 28,06 % nižší než u oceli S355J2+AR. U frézování duplexní oceli 1.4462 se řezná rychlost snížila průměrně o 39,97 %. Posuv na zub se u frézování oceli 1.4404 zvýšil oproti frézování oceli S355J2+AR v průměru o 1,90 %, jelikož nižší posuvy měly negativní vliv na tvorbu třísky.

Tabulka 5.15 – Procentuální srovnání časů

Operace	S355J2+AR		1.4404		1.4462	
	čas t [min]	[%]	čas t [min]	[%]	čas t [min]	[%]
Řezání	6,67	36,45	15,55	84,97	18,30	100,00
Soustružení	36,03	59,48	49,91	82,39	60,58	100,00
Frézování	24,72	53,13	33,72	72,47	46,53	100,00
Celkem	67,42	53,76	99,18	79,08	125,41	100,00

Příklad výpočtu procentuálního času řezání oceli S355J2+AR v porovnání s ocelí 1.4462:

$$\frac{6,67}{18,30} \cdot 100 = 36,45 \%$$

Z tabulky 5.14 lze vyčíst, že výroba kusu z konstrukční oceli S355J2+AR je o 32,02 % rychlejší než výroba z korozivzdorné austenitické oceli 1.4404 a o 46,24 % rychlejší než z duplexní oceli 1.4462. Výrobek z austenitické oceli 1.4404 byl vyroben o 20,92 % rychleji než výrobek z duplexní oceli 1.4462.

6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Cena materiálu

Cena oceli se v Evropě i v České republice odvíjí od ceny oceli ve světě. Ta závisí jednak na vztahu nabídky a poptávky po oceli ve světě a jednak na vývoji cen vstupních surovin. Hodnotový řetězec oceli začíná od ceny železné rudy, dále je cena surového železa a pak již ceny jednotlivých druhů ocelí. Konstrukční oceli obvyklých jakostí se řadí k nejlevnějším druhům ocelí a korozivzdorné naopak k těm nejdražším. [33]



obrázek 6.1 – Vývoj a výhled ceny oceli – ocelové pásy a plechy válcované za tepla v USD/short ton [33]

Z důvodu, že společnost CS STEEL a.s. je dodavatelem hutního materiálu přímo od výrobce, jsou jejich ceny materiálu mezi nejnižšími na trhu.

Cena kruhové oceli $\varnothing 230$ mm:

- | | |
|--------------|----------|
| 1. S355J2+AR | 9 Kč/mm |
| 2. 1.4404 | 32 Kč/mm |
| 3. 1.4462 | 36 Kč/mm |

6.2 Cena práce

Veškerá výroba dílů byla prováděna konvenčním obráběním. Dělení materiálu probíhalo na automatické pásové pile, soustružení na CNC soustruzích a frézování na pětiosé CNC frézce. Tyto stroje patří k moderním metodám obrábění, a proto jsou pořizovací ceny jak samotných strojů, tak i nástrojů poměrně drahé.

Ve společnosti CS STEEL a.s. jsou v ceně práce na strojích započteny náklady spojené s provozem stroje, jako jsou náklady na údržbu, elektřinu apod, i náklady na mzdu obsluhy. Ve firmě se používá minutová sazba.

Cena práce na strojích:

- | | |
|----------------|-----------|
| 1. Řezání | 10 Kč/min |
| 2. Soustružení | 15 Kč/min |
| 3. Frézování | 15 Kč/min |

6.3 Evidenční nákladová cena výrobku

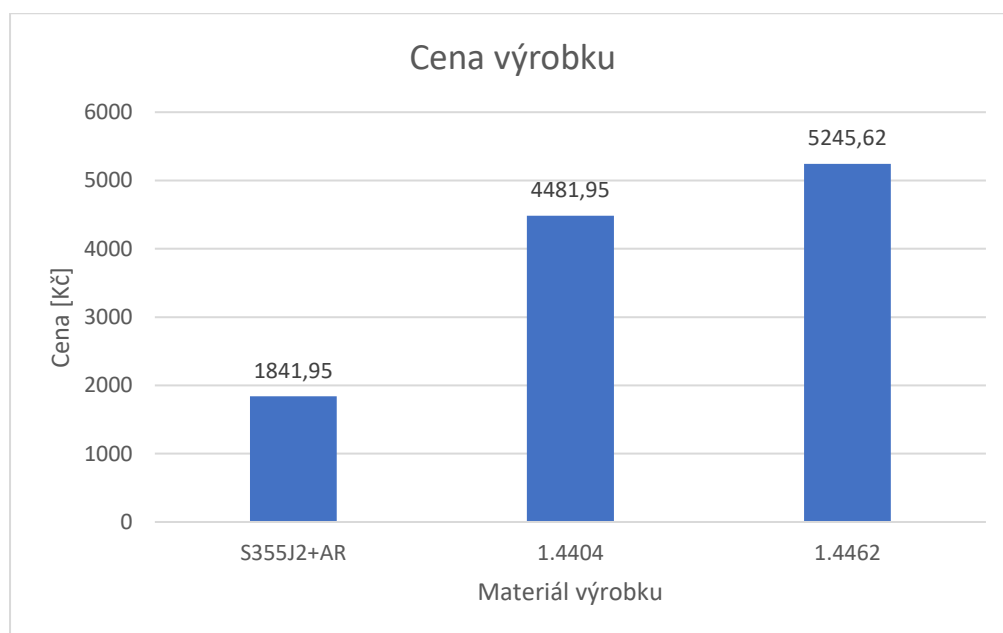
Evidenční nákladová cena výrobku je cena, za kterou je firma schopna vyrobit daný výrobek. Tato cena není prodejní. Kalkulace ceny se odvíjí od množství použitého materiálu a strojních časů.

Tabulka 6.1 – Kalkulace evidenční nákladové ceny výrobku

Materiál	S355J2+AR	1.4404	1.4462
Cena materiálu [Kč/mm]	9,00	32,00	36,00
Délka materiálu [mm]	96,00	96,00	96,00
Cena řezání [Kč/min]	10,00	10,00	10,00
Čas řezání [min]	6,67	15,55	18,30
Cena soustružení [Kč/min]	15,00	15,00	15,00
Čas soustružení [min]	36,03	49,91	60,58
Cena frézování [Kč/min]	15,00	15,00	15,00
Čas frézování [min]	24,72	33,72	46,53
Evidenční cena výrobku [Kč]	1841,95	4481,95	5245,65

Příklad kalkulace ceny materiálu S355J2+AR:

$$(9 \cdot 96) + (10 \cdot 6,67) + (15 \cdot 36,03) + (15 \cdot 24,72) = 1841,95 \text{ Kč}$$



obrázek 6.2 – Cena výrobku z různých druhů ocelí

Tabulka 6.2 – Procentuální srovnání ceny

Materiál	Cena [Kč]	[%]
1.4462	5245,62	100,00
1.4404	4481,95	85,44
S355J2+AR	1841,95	35,11

Příklad výpočtu procentuální ceny výrobku z oceli S355J2+AR v porovnání s výrobkem z oceli 1.4462:

$$\frac{1841,95}{5245,62} \cdot 100 = 35,11 \%$$

Nejvyšší náklady na výrobu jednoho dílu byly u korozivzdorné duplexní oceli 1.4462 s evidenční nákladovou cenou 5245,62 Kč. Výroba dílu z korozivzdorné austenitické oceli 1.4404 stojí firmu 4481,95 Kč, což je o 14,56 % méně než z oceli 1.4462. Evidenční cena výrobku z konstrukční oceli S355J2+AR je 1841,95 Kč a je o 64,89 % nižší, než cena výrobku z korozivzdorné duplexní oceli 1.4462.

7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo porovnání řezných podmínek a strojních časů při obrábění konstrukční oceli S355J2+AR dle EN 10 027-1, korozivzdorné austenitické oceli 1.4404 a korozivzdorné duplexní oceli 1.4462 dle EN 10 027-2. Experiment byl prováděn ve firmě CS STEEL a.s., kde jsem obráběl jeden druh výrobku ze tří druhů materiálu.

Obrobitelnost materiálu závisí především na jeho mikrostruktuře, chemickém složení, způsobu výroby a taky na fyzikálních a mechanických vlastnostech. Pro vyhodnocování obrobitelnosti jsou materiály rozděleny do devíti základních skupin, které se značí malými písmeny, kde oceli jsou značeny písmenem b.

Dále byly obráběné materiály rozděleny podle ISO do šesti hlavních skupin, které se značí velkými písmeny. Každá z těchto skupin má své určité vlastnosti z hlediska obrobitelnosti. Podle těchto skupin se dále volí řezné nástroje, které budou použity na daný materiál.

Konstrukční oceli, do které spadá ocel S355J2+AR, se řadí do skupiny ISO P. Tato skupina je obvykle dobře obrobitelná a kontrola tvorby třísky je relativně jednoduchá.

Korozivzdorné oceli typu 1.4404 a 1.4462 se řadí do skupiny ISO M. Při obrábění této skupiny vznikají velké řezné síly a poměrně velké množství tepla, tvoří se dlouhé třísky a utváření třísky bývá složitější. Obrobitelnost korozivzdorných ocelí je poměrně horší než obrobitelnost materiálů skupiny ISO P.

Experiment se skládal z obrábění jednoho typu výrobku z tří různých materiálů. Obrábění konstrukční oceli S355J2+AR bylo přibližně o 32 % rychlejší než obrábění korozivzdorné austenitické oceli 1.4404 a přibližně o 46 % rychlejší než obrábění duplexní oceli 1.4462. Tyto rozdíly v časech způsobily různé použité řezné podmínky, přičemž při obrábění konstrukční oceli byly použity vyšší hodnoty řezných podmínek.

V závěru práce je vypočtena evidenční nákladová cena vyrobených dílů. Logicky vyšel nejlevnější díl vyrobený z oceli S355J2+AR s cenou 1841,95 Kč. Druhý je výrobek z oceli 1.4404 s cenou 4481,95 Kč a nejdražší je výrobek z oceli 1.4462 s cenou 5245,65 Kč.

Volba materiálu, který bude použit na výrobu dané součásti však nezáleží pouze na délce času výroby nebo na ceně. Musí se brát v potaz také to, jak bude součást namáhána a v jakém prostředí.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval společnosti CS STEEL a.s., zejména Ing. Tomášovi Perutkovi a zaměstnancům centra přesného obrábění za jejich čas a vstřícný přístup při konzultacích i samotné výrobě. Dále touto cestou děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Lichovníkovi za jeho vedení, trpělivost a rady, které mi poskytl.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CS STEEL a.s.: Váš partner v dodávkách v oceli a hliníku. *CS STEEL* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.cssteel.cz/cs-steel/>
- [2] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Marek SADÍLEK, Lenka PETŘKOVSKÁ a Jana NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. 1. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 251 [cit. 2020-04-06]. ISBN 978-80-248-1505-3. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [3] ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ* [online]. 1. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-04-06]. ISBN 978-80-248-3013-1. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_002/Úvod%20do%20terioie%20obrábění.pdf
- [4] SADÍLEK, Marek. *Obrábění I: výběr přednášek*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3857-1.
- [5] HUMÁR, Antonín. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Fakulta strojní inženýrství – VUT v Brně, 2003, s. 138 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [6] *Technologie II.: Technologie tváření kovů* [online]. Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [7] LEFFLER, Béla. *Stainless: stainless steels and their properties* [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_9/articles/stainless_steel.pdf
- [8] Global stainless steel production from 2005 to 2018. *Statista* [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/223028/world-stainless-steel-production/#statisticContainer>

- [9] *Euro Inox: Korozivzdorné oceli – vlastnosti* [online]. In: Brusel, 2002 [cit. 2020-04-18]. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z: http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
- [10] BRENNER, Otakar. *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály* [online]. In: 2003 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf
- [11] HAVRILA, M., J. ZAJAC, J. BRYCHTA a J. JURKO. Top trendy v obrábění: I. část – Obráběné materiály. Žilina: Media/St, 2006. Stroje, materiály, technologie. ISBN 80-968-9542-7.
- [12] JANDERA, Michal, Břetislav ŽIDLICKÝ a Marek ŠORF. *Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli* [online]. In: ČVUT v Praze, 2017 [cit. 2020-04-18]. ISBN 978185942 2359. Dostupné z: <http://www.steel-stainless.org/media/1483/dmsss-cz.pdf>
- [13] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *MM spektrum* [online]. 2003 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2.html>
- [14] HLAVNÍ SKUPINY NEREZOVÝCH OCELÍ. *TERAPOL spol. s r.o* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <http://www.terapol.cz/clanek/no-vap-hlavni-skupiny>
- [15] Obráběné materiály: Skupiny obráběných materiálů. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx?Country=cz>
- [16] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology: Proces obrábění v nerezových ocelích – závěrečné tipy. *MM spektrum* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-proces-obrabeni-v-nerezovych-ocelich-zaverecne-tipy.html>
- [17] MRKVICA, Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje*. Ostrava: Editační středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-7078-941-7.
- [18] SANMAC 316/316L. *Sandvik materials* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.materials.sandvik.cz/centrum-material/materialove-listy/bar-and-hollow-bar/bar/sanmac-316316l/>

- [19] SANMAC® 2205. *Sandvik materials* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.materials.sandvik/cz/centrum-material/materialove-listy/bar-and-hollow-bar/bar/sanmac-2205/>
- [20] JONŠTA, Zdeněk. *Nauka o kovech II*. 2. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-958-1.
- [21] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [22] *Rozdělení a označení ocelí* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/znaceni_oceli.pdf
- [23] Značení ocelí. *Ferona* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/znaceni-oceli/>
- [24] *OCELÁŘŮV PRŮVODCE* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: http://babca.cz/content/useruploads/ocelaruv_pruvodce_2b.pdf
- [25] FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-85867-95-8.
- [26] KASTOwin A 4.6. *Kasto* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.kasto.com/en/products/sawing-machines/sawing-machines-detail-page/kastowin-a-46-1.html>
- [27] Pilové pásy na kov. *Simonds* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://www.simonds.cz/cs/pilove-pasy-na-kov?productFilter-s%5Blength%5D=6096&productFilter-s%5Bheight%5D=19&productFilter-s%5Bpitch%5D=35#0=snippet--tabTitle&active_tab=tab-plugins
- [28] LENOX VERSA PRO. *FIPAS* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.fipas.cz/versa-pro>
- [29] Soustruh SPR 100. *CNC ZLÍN* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.cnczlin.cz/produkt/soustruh-spr-100/>
- [30] Řada CTX. *DMG MORI* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/soustruzeni/univerzalni-soustruzeni/ctx>

- [31] Řada DMU. *DMG MORI* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu>
- [32] 803D. *PRAMET* [online]. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/insertsList.aspx>
- [33] KOZELSKÝ, Tomáš a Radek Novák. *Vývoj cen oceli* [online]. Praha: KNOWLEDGE CENTRE – Česká spořitelna, a.s., 6.4.2020 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www_csas_cz/Dokumenty-korporat/Dokumenty/Analytici/vyvoj-cen-oceli-%202020-04.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

obrázek 1.1 – Výrobky společnosti CS STEEL	13
obrázek 2.1 – Pásová pila TWIN U 4	18
obrázek 2.2 – Pilový pás na kov	19
obrázek 2.3 – Základní soustružnické práce [5].....	20
obrázek 2.4 – Systém upínání vyměnitelných břitových destiček [2]	22
obrázek 2.5 – Soustružnický nůž pravý s vyměnitelnou břitovou destičkou.....	23
obrázek 2.6 – Univerzální hrotový soustruh [2]	23
obrázek 2.7 – Válcové frézování, a) nesousledné, b) sousledné [2].....	24
obrázek 2.8 – Čelní frézování, a) symetrické, b) nesymetrické [2].....	25
obrázek 2.9 – Nástrčná čelní fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami [2]	26
obrázek 2.10 – Svislá konzolová frézka [5]	27
obrázek 3.1 – Rozdělení ocelí ke tváření [21]	28
obrázek 3.2 – Schéma číselného značení dle ČSN 42 0002 [23]	29
obrázek 3.3 – Odvod tepla při tvorbě třísky u konstrukčních ocelí obvyklých jakostí [15] ..	32
obrázek 3.4 – Soustružení konstrukční oceli	32
obrázek 4.1 – Celosvětová produkce korozivzdorné oceli od roku 2005 do 2018 [8]	33
obrázek 4.2 – Značení korozivzdorných ocelí	34
obrázek 4.3 – Diagram chemického složení různých typů korozivzdorných ocelí [15]	35
obrázek 4.4 – Martenzitická struktura [9]	36
obrázek 4.5 – Feritická struktura [9].....	36
obrázek 4.6 – Austenitická struktura [9]	37
obrázek 4.7 – Austeniticko-feritická struktura [9]	38
obrázek 4.8 – Obrobitelnost korozivzdorných ocelí	39
obrázek 4.9 – Odvod tepla při tvorbě třísky u korozivzdorných ocelí [15].....	39
obrázek 4.10 – Soustružení korozivzdorných ocelí.....	40
obrázek 5.1 – Pásová pila KASTOwin A 4.6 [26]	41
obrázek 5.2 – Soustruh SPR 100 CNC [29]	43
obrázek 5.3 – Soustruh CTX 510 ecoline.....	44
obrázek 5.4 – Vrták ø56 mm.....	45

obrázek 5.5 – Ubírací nůž levý vnější.....	45
obrázek 5.6 – Hlava CoroCut pro zapichování.....	46
obrázek 5.7 – Frézka DMU 50 eco [31].....	47
obrázek 5.8 – Válcová fréza čelní.....	48
obrázek 5.9 – Vrták ø13 mm.....	48
obrázek 5.10 – Závitová fréza G3/8.....	49
obrázek 5.11 – Stopy po upnutí do čelistí při soustružení.....	51
obrázek 5.12 – Hotové výrobky experimentu	52
obrázek 5.13 – Grafické srovnání strojních časů	54
obrázek 6.1 – Vývoj a výhled ceny oceli – ocelové pásy a plechy válcované za tepla v USD/short ton [33]	56
obrázek 6.2 – Cena výrobku z různých druhů ocelí	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 – Třídy obrobitelnosti ocelí [3] [4] [11]	16
Tabulka 3.1 – Chemické složení oceli S355J2	31
Tabulka 3.2 – Mechanické vlastnosti oceli S355J2	31
Tabulka 4.1 – Chemické složení oceli 1.4404 [18]	37
Tabulka 4.2 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4404 [18]	37
Tabulka 4.3 – Chemické složení oceli 1.4462 [19]	38
Tabulka 4.4 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4462 [19]	38
Tabulka 5.1 – Technické parametry pily KASTOwin A 4.6 [26]	42
Tabulka 5.2 – Parametry pilového pásu Simonds SiClone [27]	42
Tabulka 5.3 – Parametry pilového pásu LENOX VERSA PRO [28]	42
Tabulka 5.4 – Technické parametry soustruhu SPR 100 CNC [29]	43
Tabulka 5.5 – Technické parametry soustruhu CTX 510 ecoline [32]	44
Tabulka 5.6 – Parametry vrtáku SD523-56-168-40R7	45
Tabulka 5.7 – Parametry C4-DWLNL-27050-08	45
Tabulka 5.8 – Parametry hlavy CoroCut pro zapichování	46
Tabulka 5.9 – Technické parametry frézky DMU 50 eco [31]	47
Tabulka 5.10 – Parametry čelní válcové frézy	48
Tabulka 5.11 – Parametry vrtáku ø 13 mm	49
Tabulka 5.12 – Parametry závitové frézy G3/8	49
Tabulka 5.13 – Srovnání řezných podmínek a celkových strojních časů	52
Tabulka 5.14 – Průměrné srovnání řezných podmínek v procentech	54
Tabulka 5.15 – Procentuální srovnání časů	55
Tabulka 6.1 – Kalkulace evidenční nákladové ceny výrobku	57
Tabulka 6.2 – Procentuální srovnání ceny	58

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres příruby
Příloha 2	Technologický postup výroby
Příloha 3	Upnutí na soustruhu
Příloha 4	Upnutí na frézce
Příloha 5	Výrobek 1.4404
Příloha 6	Výrobek 1.4462
Příloha 7	Výrobek S355J2